REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE MEDEA

FACULTE DES SCIENCES



Mémoire

Présenté pour obtenir le diplôme deMaster

En Sciences de la nature et de la vie

Spécialité : Microbiologie Appliquée

Par :

ALLOTI Rabia BOUSSAHOUA Chahinez DOUMA Aicha

Thème :

Toxicité des Pesticides chez les Cyanobactéries cas d'Arthrospira Platensis

Soutenue publiquement le : 17 /06 /2023, Devant le jury composé de :

Ms : Tir Mohamed	MCA	Univ Médéa	Président
Mms : HASSEIN-BEY Amel Hind	Docteur	Univ Médéa	Examinateur
Ms : Touzout Nabil	Docteur	Univ Médéa	Encadreur
Ms : Ainas Mahfoud	MCB	Univ Médéa	Co-Encadreur

Année universitaire : 2022/2023

Remerciements

Nous remercions tout d'abord Dieu tout puissant de nous avoir donné le courage, la force et la patience d'achever ce modeste travail.

Nos remerciements s'adressent, à notre encadreur ***Ms. TOUZOUT Nabil***. Nous la remercions pour son encadrement, ses précieux conseils, son soutien, son oreille attentive, sa gentillesse, son dynamisme et son amitié. Merci de nous avoir fait confiance et nous a encouragé pour la réalisation de ce travail.

Nous tenons aussi à exprimer toutes notre gratitude aux membres du jury pour avoir accepté d'évaluer et de juger notre travail.

Nous souhaitons remercier aussi l'ensemble des membres de laboratoire de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université de Médéa.

Merci enfin à l'ensemble des personnes qui nous ont aidé de près ou de loin dans l'élaboration de ce travail.

DEDICACE

À MES CHERS PARENTS. Aucune
Dédicace ne saurait exprimer mon respect,
mon amour éternel et ma considération
pour les sacrifices que vous avez consenti
pour mon instruction et mon bien être.
A ma chère soeurDahbia et Loubna.
A mes chers promoteurs
TOUZOUT. N pour son précieux conseil
et son aide durant toute la période du
travail, pour ses orientations, sa patience et
sa disponibilité.
A mes amis Rahil, Chimaa, Raihana, Zinab
Ahlem, Wafa,
Malek et A toutes ma famille
A tous ceux qui ont participé de loin ou de
Près à la réalisation de ce travail,
Avec l'expression de tous mes sentiments de
respect.

ALLOTI Rabia

DEDICACE

- *Je présente mes dédicaces à ceux qui m'ont enseigné le chemin de mes études depuis le premier jour jusqu'a ce jour.*
- *Mon cher père " Nourradine ". l'éducateur, le guide, le conseiller, celui qui se tient à mes côtés et me soutient dans ce travail, que dieu le protège de tout mal.*
- *A ma chèremère ; source de tendresse, d'espoir et d'optimisme "Samira", qui m'a soutenu dans mon travail et m'a donner une dose de patience pour supporter les fardeaux de vie, et qui m'a prodigué son grand amour et sa tendresse, puisse Dieu la protège pour nous.*
- *Et je présente la dédicace spécial à mon âmesœur et la chérie de mon cœur, à celle qui n'a cessé de me nourrir de sa gentillesse et de son amour pour moi, et a été le soutien qui ne se lasse pas de m'encourager et de me rappeler la patience et l'espoir, à celle qui me redonna des forces, A ma sœur bien-aimée "Ikrame", dont le seul souci est de me voir heureuse.*
- *Mes frèresa ceux avec qui j'ai connu le goût de la vie " Abdalilah, Lokman, Iman, Lamia, Lou djaïne".*

Et j'offre mon cadeau à tous les membres de la famille.

- *Et je remercie mes amis de toujours me soutenir et d'être à mes cotés " Afrah et Medina et Radia et Abir".*
- *J'adresse mes remerciements et ma gratitude à mon superviseur, Dr* ***Touzout.N****, pour tous ses efforts, pour m'aider dans ce travail.*

BOUSSAHOUA Chahinez

الملخص

اجتذب تلوث مياه الصرف الصحي بالمبيدات اهتماما متزايدا. حيث اظهر ان هذه المبيدات تقوم بالتأثير على البكتيريا الزرقاء، وهي طحالب دقيقة بدائية النواة ، موزعة على نطاق واسع في بيئات مائية مختلفة، ولها مزايا الاستزراع البسيط ومعدل النمو السريع. ومع ذلك، فإن الدراسات حول سمية المبيدات الحشرية للبكتيريا الزرقاء نادرة. في هذه الدراسة، تم اختيار مبيد (بلت) و*سبيرولينا بلاتنسيس* كمثل للمبيدات النموذجية والبكتيريا الزرقاء، على التوالي. بلت (10-30 ميكروغرام / لتر) له آثار سمية على س .بلاتنسيس، مما يدل على تثبيط النمو الأقصى في 30 ميكروغرام/لتر بعد 4 أيام من الزراعة. تسبب مبيد الفطريات في الإجهاد ألتأكسدي في *س. بلاتينسيس* ، كما يتضح من الارتفاع الكبير في محتويات بيرو كسيد الهيدروجين (H_2O_2) وأكسدة الدهون الغشائية. أظهر س. بلاتنسيس اتجاها تنازليا في زيادة أنشطة أسكوربات بيروكسيديز وكاتلاز وجلوتاثيون إس ترانسفيراز، بينما انخفضت أنشطة البيروكسيديز. انخفض محتوى الكلوروفيل والبروتينات والكربوهيدرات، ولكن تم زيادة محتوى الدهون. أشارت هذه النتائج إلى أن المبيدات الحشرية أو مبيدات الآفات الأخرى من مياه الصرف الصحي يمكن أن تؤثر على نمو بلاتنسيس.

الكلمات المفتاحية: البكتيريا الزرقاء، *أرثروسبيرا بلاتنسيس*، مبيدات الفطريات، الإجهاد ألتأكسدي، المكون الحيوي.

Résumé

La contamination des eaux usées par des pesticides attire de plus en plus l'attention. Les cyanobactéries, qui sont d'importantes microalgues procaryotes, sont largement distribuées dans différents environnements aquatiques et présentent les avantages d'une culture simple et d'un taux de croissance rapide. Cependant, les études sur la toxicité des pesticides pour les cyanobactéries sont rares. Dans cette étude, le fongicide Belt (BLT) et *Spirulinaplatensis* ont été sélectionnés respectivement comme pesticides et cyanobactéries modèles. Le BLT (10-30 μg/L) a eu des effets toxiques sur *S. platensis*, montrant une inhibition de croissance maximale à 30 μg/L après 4 jours de culture. Le fongicide a provoqué un stress oxydatif chez *S. platensis*, comme en témoigne une augmentation significative des teneurs en peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) et en peroxydation lipidique. *S. platensis* a montré une tendance à la baisse dans l'augmentation des activités de l'ascorbate peroxydase, de la catalase et du glutathion-S-transférase, tandis que les activités de la peroxydase ont diminué. La teneur en chlorophylles, protéines et glucides a diminué, mais la teneur en lipides a augmenté. Ces résultats ont indiqué que le BLT ou d'autres pesticides provenant des eaux usées pourraient affecter la croissance de *S. platensis*.

Mots clés : Cyanobactéries, *Arthrospiraplatensis*, Fongicide, Stress oxydatif, Biocomposan.

Abstract

Contamination of wastewater with pesticide has attracted increasing attention. Cyanobacteria, which are important prokaryotic microalgae, are widely distributed in different water environments, and have the advantages of simple culture and a fast growth rate. However, studies on the toxicity of pesticides to cyanobacteria are scarce. In this study, the fungicide Belt (BLT) and Spirulina platensis were selected as model pesticides and cyanobacteria, respectively. BLT (10- 30 µg/L) had toxicity effects on *S. platensis*, showing maximal growth inhibition at 30µg/L after 4 days of cultivation. The fungicide caused oxidative stress in *S. platensis*, as demonstrated by a significant rise in the contents of hydrogen peroxide (H_2O_2) and Lipid peroxidation. *S. platensis* showed a decreasing trend in increasing ascorbate peroxidase, catalase, and glutathione-S-transferase activities, while a peroxidase activity was decreased. The content of chlorophylls, proteins, and carbohydrates were decreased, but lipids content was increased. These findings indicated that BLT or other pesticides from wastewater could affect *S. platensis* growth.

Keywords: Cyanobacteria, *Arthrospira platensis*, Fungicide, Oxidative stress, Biocomponent.

Liste des figures

Figure 1: Anatomie de la cellule de cyanobactérie (Bojadzija Savic, 2019). 4

Figure 2 : Principaux genres de cyanobactéries formant des fleurs d'eau (Dutheil, 2013). 5

Figure 3: Schéma d'un chloroplaste. 6

Figure 4 : Les complexes photosynthétiques et la chaîne de transport d'électrons (Confalonieri et al., n.d.). 6

Figure 5: Classification des pesticides (Bilal et al., 2019).....13

Figure 6; Formules développées du glutathion réduit (A) et du glutathion oxydé (B) (Pierre-Alexandre LALLEMENT, 2014)..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 7: La morphologie de la spirulina.....25

Figure 8: : Effet de pesticide BLT sur l'absorbance et le poids sec d'Arthrospira platensis après 96 h de traitement.....34

Figure 9: Effet de pesticide BLT sur le taux d'inhibition d'Arthrospira platensis après 96 h de traitement. 35

Figure 10: Effet de pesticide BLT sur la teneur en chlorophylle a d'Arthrospira platensis après 96 h de traitement.....35

Figure 11 : Effet de pesticide BLT sur la teneur en chlorophylle b d'Arthrospira platensis après 96 h de traitement.....36

Figure 12: Effet de pesticide BLT sur la teneur en protéine d'Arthrospira platensis après 96 h de traitement. 37

Figure 13: Effet de pesticide BLT sur la teneur en carbohydrates d'Arthrospira platensis après 96 h de traitement.....37

Figure 14: Effet de pesticide BLT sur la teneur en lipide d'Arthrospira platensis après 96 h de traitement. 38

Figure 15 : Effet de pesticide BLT sur la teneur en H2O2 d'Arthrospira platensis après 96 h de traitement 39

Figure 16: Effet de pesticide BLT sur la teneur en MDA d'Arthrospira platensis après 96 h de traitement. 40

Figure 17: Effet de pesticide BLT sur la teneur en GST d'Arthrospira platensis après 96 h de traitement. 41

Figure 18: Effet de pesticide BLT sur la teneur en GST d'Arthrospira platensis après 96 h de traitement. 41

Figure 19: Effet de pesticide BLT sur la teneur en CAT d'Arthrospira platensis après 96 h de traitement. 42

Figure 20: Effet de pesticide BLT sur la teneur en APX d'Arthrospira platensis après 96 h de traitement. 43

Liste des tableaux

Tableau 1: Une première classification taxonomique. Ils proposaient alors une classification en 6 sections principales (Dutheil & Synechocystis, 2014 ; Asselman, 2014 ; Pau et al., 2022) 4

Tableau 2: Les différents types trophiques de cyanobactérie (Kammerscheit, 2021)..7

Tableau 3 : Quelques structures chimiques caractéristiques de certaines familles de pesticides 14

Tableau 4: Système antioxydant enzymatique et non-enzymatique chez les microalgues et les cyanobactéries.(Nguyen-Deroche, 2008)..... **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 5: La Composition de Milieux Zarrouk dans 1L d'eau Ultra pure 26

Liste des abréviations

PSI : Photosystème I

PSII: Photosystème II

ERO: Espèce réactive de l'oxygène

O_2 : Anion superoxyde

H_2O_2:peroxyde d'hydrogène

OH : Radical haydroxyl

$^1O_2$: Oxygene singulet

OCPS : Les organochlorés

OP: Les organophosphorés

DDT: Les dichlorodiphényltrichloroéthane

D1 : Protéine

EPSPA: Enzyme 5-énolpyruvoylishikimate -3-phosphate synthase

GSH: Glutathion réductase

SOD : Superoxyde dismutases

APX: Ascorbate peroxidase

GST : glutathione –S-transferase

DHA :Déhydroascorbate

MDHA: Monodéhydroascorbate

O: Oxygene

CAT : Catalase

PRXS : Peroxydase

PRX : Indice de réactivité pression

DPS : Droit préférentiel de souscription

ASc : L'ascorbate

MDHAR: Monodéhydroascorbate réductase

DHAR:Déhydroascorbate réductase

NADH : forme réduit du nicotinamide adéninedi nuclide

EGT: Ergothionéine

PBs : phycobilisomes

MAA: Les acides aminés le types mycosporporine

UV-A : Ultraviolet -A

UV-B : Ultraviolet-B

GSSG: Glutathion disulfite, glutathion réduit

MG :méthylyglyoxal

GLYI: La glyoxalase I

GLY II: LaglyoxalaseII

OPH : Hydrolase organophosphorée

CO_2: Dioxyde de carbone

PH: potentiel hydrogène

BLT: Belt

TCA: Acide trichloracétique

MDA: Malondialdéhyde

TBA: Acide -2-thiobarbiturique

A /OX: Antioxydant

EDTA: Ethylenediamine tetra aceticacide

POD: Peroxidase

CDNB: Le 1-Chloro-2 ,4-dintrobenzéne**NaOH** **:** Hydroxydedesodium

BSA : L'albumine de sérum bovin

EPS : Exopolysaccharides

ANOVA: Analysis of variance

Chla: Chlorophyll a

Chlb: Chlorophyll b

MOX : Moxifloxacin

CBZ: Carbamazepine

SMZ: Sulfamethoxazole

OXY: Oxychlorure

STM : La société de transport de Montréal

DFS: Diclofenac Sodium

FBA: Fructose –bisphosphate aldolase

FBP : Fructose 1-6-diphosphate

GAP: Glycéraldéhyde 3-phosphate

AMX : Amoxicilline

CPX : Ciprofloxacine

ALS: L'acétolactate synthases

*: significatif

Table des matières

Remerciements .....

DEDICACE .....

Résumé .....

Liste des figures.....

Listedestableaux.....

Liste des abréviations .....

Introduction général..... ***1***

Partie 01 : synthèse bibliographique

Chapitre I : Généralité des cyanobactéries

I .1.1 Définition de Cyanobactérie *3*

I.1.2Taxonomie de Cyanobactérie..... *4*

I.2 Distribution de cyanobactérie..... ***5***

I.3 Photosynthèses de cyanobactérie ***5***

I.3.1 Définition de photosynthèse et phototrophe *5*

I.4 Métabolisme de cyanobactérie..... ***7***

I.4.1Définition..... *7*

I. 4.2 Différents types trophiques..... *7*

I.5 Définition de stress..... ***7***

I.5.1 Les stress auxquels les cyanobactéries *8*

I.5.1.1 stress photo-oxydant..... *8*

I.5.1.2 Stress métallique..... *8*

I.5.1.3 stress thermique..... *8*

I.5.1.4 stress métabolique *8*

I.5.1.5 Stress xénobiotique..... *9*

I.5.2 Les différentes sources de stress chez les cyanobactéries..... *9*

I.5.2.1 Le stress oxydant *9*

I.5.2.1.1 Les différentes espèces réactives de l'oxygène (ERO)..... *9*

I.5.2.1.2 Les différentes sources des ERO..... *9*

i. Les ERO exogènes *9*

ii. Les ERO endogènes générés par la photosynthèse *10*

I.5.2.1.3 Les différentes conséquences d'ERO à l'échelle moléculaire et cellulaire *10*

Chapitre II : Les pesticides

II .1 Généralité ***12***

II .2 Classification ***12***

II .2.1 Selon les propriétés chimiques *13*

II .2.1 Les pesticides organiques *13*

II .2.1.1 Les organochlorés (OCPS) *13*

II .2.1.2 Les organophosphorés (OP) *14*

II .2.1.3 Les carbamates *14*

II .2.1.4 Les pyréthroïdes de synthèse *14*

II .2.2 Les pesticides organo- métalliques *14*

II .2.3 Les pesticides inorganiques *14*

II .2.4 Les biopesticides *14*

II .2.2 Selon les organismes vivants ciblés *15*

II .2.2.3 Les herbicides *15*

II .2.2.1 Les insecticides *15*

II .2.2.2 Les fongicides *15*

II .2.3 Selon la formulation *15*

II .2.3.1 Les formulations sèches ou solides sont sous forme de *15*

II .2.3.2 Les formulations mouillées ou liquides *16*

II.3 Avantages et dangers des pesticides ***16***

II .3.1 Avantages des pesticides *16*

II .3.2 Dangers des pesticides *16*

Chapitre III : impactes des pesticides sur les cyanobactéries

III.1 Analyse physiologique de cyanobactérie ***17***

III.1.2 Inhibitions de photosynthèse de cyanobactérie par le pesticide *17*

III.2 Inhibitions de croissance ***17***

III .3 Analyse biochimique de cyanobactérie ***18***

III .3.1 Inhibiteurs de la biosynthèse d'acides gras *18*

III .3.2 Inhibiteurs de la biosynthèse d'acides aminés 18

Chapitre IV : la défense de cyanobactérie contrer le stress de pesticide

IV. 1 Introduction 19

IV.1.2 Le différent mécanisme de défense 19

IV.1.2.1 Les mécanismes de défense antioxydant 19

IV.1.2.1.1 Antioxydant enzymatique 20

IV.1.2.1.1.1 Superoxyde dismutase (SOD) 20

IV.1.2.1.1.2 Catalase (CAT) : 20

IV.4.2.1.1.3 Peroxydases (PRXS) 20

IV.1.2.1.1.4 Protéines de liaison à l'ADN : (DPS) 20

IV.1.2.1.2 Les antioxydants non enzymatiques 21

*IV.1.2.1.2.1 L'Ascorbate ..... **Erreur ! Signet non défini.***

IV.1.2.1.2.2 Ergothionéine (EGT) 21

IV.1.2.2.3 Les caroténoïdes : 21

IV.1.2.1.2.4 La vitamine E 22

IV.1.2.1.2.5 Les acides aminés le type mycosporine (MAA) 22

IV.1.2.1.2.6 La scytonémine 22

IV.1.2.1.2.7 Les glutathion : 23

IV. 2.2 Voies de la glycoxalase: 23

IV.1.2.3 la biodégradation de cyanobactérie 24

Parties 02 : Matériels et méthodes (P. Expérimentales)

I.1- Organismes expérimentaux et conditions de croissance 25

I.1.1 Organismes expérimentaux 25

a) Spirulina 25

I.1.2 Incubation et maintien de la culture 25

I.1.3 Milieu de culture (Zarrouk) 26

I.1.4 Verrerie et produits chimiques 26

I.1.4 .1 Autoclave 26

I.1-5 Expression de dépistage 26

I.1.6 Conception de traitement 26

I.2. Mesures de croissance 27

I.3. pigment photosynthétique ***27***
I.3.1 Estimation de la chlorophylle a et des caroténoïdes *27*
I.4. Espèces réactives de l'oxygène (ERO) ***27***
I.4.1 Estimation d'hydrogène peroxyde (H_2O_2) *27*
a) Estimation in vitro *27*
I.5. Indices des dommages oxydatifs ***28***
I.5.1 Estimation MDA *28*
I.6. Système d'antioxydants (A/OX) ***29***
I.6.1 Antioxydants enzymatiques *29*
I.6.1.1 Estimation de l'activité de la catalase (CAT ; EC 1.11.1.6) *29*
I. 6.1.2 Estimation de l'activité de la peroxydase (POD ; EC 1.11.1.7) *29*
I .6.1.3Estimation de l'activité de la glutathion-S-transférase (GST ; EC 2.5.1.18) *30*
I .6.1.4 Estimation de l'activité de l'ascorbate peroxydase (APX ; EC 1.11.1.11) *31*
I.7. Composants biochimiques ***31***
I.7.1 Estimation des protéines *31*
I.7.2 Estimation des carbohydrates *32*
I.7.3 Estimation des lipides *32*
I.8. Analyse statistique ***33***

Partie 3 : Résultats et Discussion

I.1. Effet sur le comportement de croissance, les composants biochimiques et les pigments photosynthétiques ***34***
I.1.1 Comportement de croissance *34*
I.1.2 Pigments photosynthétiques *35*
I.2 Composants biochimiques ***36***
I.2.1 Teneur en protéines *36*
I.2.2 Teneur en glucides *37*
I.2.3 Teneur en lipides *38*
I.3. Effet sur les biomarqueurs du stress oxydatif : espèces réactives de l'oxygène et dommages oxydatifs ***38***
I.3.1 Peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) : analyse in vitro *38*
I.4. Indices de dommages oxydatifs ***39***
I.4.1 Peroxydation lipidique *39*
I.5. Effet sur le système de défense antioxydant ***40***
I.5.1 Antioxydants enzymatiques (analyse biochimique) *40*

I.5.1.1 Activité glutathion-S-transférase (GST) *40*
I.5.1.2 Activité peroxydase (POD) *41*
I.5.1.3 Activité catalase (CAT) *42*
I.5.1.4 Activité ascorbate peroxydase (APX) *42*
Discussion ***45***
Conclusion ***51***
Références ..... *Erreur ! Signet non défini.*
Annexe ..... *Erreur ! Signet non défini.*
SPECTROPHOTOMÈTRE « UV-3100 » ***59***
CENTRIFUGEUSE POUR SÉPARATION ***59***

Introduction

Introduction général

Depuis le début de la « révolution verte » mondiale dans les années 1960, l'agriculture est devenue une tache commerciale pour poursuivre l'utilisation de variétés de culture à haut rendement grâce à l'apport constant d'engrais chimiques et de pesticide. Les pesticides sont considérés, comme un facteur clé dans l'amélioration du rendement des cultures. L'utilisation aveugle de pesticide représente un grand danger pour les organismes bénéfiques non cibles, notamment (les cyanobactéries).

La pollution aux pesticides est un problème mondial croissant qui suscite de graves préoccupations en raison de ses conséquences sur les écosystèmes aquatiques et la santé publique. La libération des pesticides dans l'environnement, souvent issue des ruissellements agricoles, des stations d'épuration des eaux usées et de l'activité agricole, peut entraîner le développement de bactéries résistantes aux antibiotiques et perturber l'équilibre écologique.

Les cyanobactéries tolèrent dives stress qui seront soit 'biotiques' soit 'abiotique' et ont contribué à des avantages par rapport à différents concurrents dans leur habitat. Ils sont signalés comme très résistants aux conditions environnementales défavorables telles que : l'exposition aux pesticides, la pollution, l'intensité lumineuse, etc ; donc ils poussent dans tous sortes d'environnements aquatiques et terrestres.

Les pesticides comme Belt sont rejetés dans l'environnement et pénètre ainsi dans la masse d'eau par ruissellement et affecte les écosystèmes aquatiques, et la toxicité de ces produits chimiques sur les microbes comme les cyanobactéries, la formation d'espèces réactives de l'oxygène chez les cyanobactéries en interrompant le flux d'électrons dans la photosynthèse. Parallèlement à la formation d'espèces réactives de l'oxygène, l'induction d'enzymes antioxydants, notamment la peroxydase, la glutathion-S-transférase et la catalase, et des molécules non enzymatiques telles que la proline, les protéines non protéiques, les thiols, etc. Sont essentiels pour maintenue un niveau compatible d'espèces réactives de l'oxygène dans le système cellulaire. Lorsque l'équilibre entre lesespèces réactives de l'oxygène et les antioxydants est perturbé il en résulte un stress oxydatif entrainant des rendements de croissance laisses.

Dans cette étude, l'impact de fongicide Belt sur la cyanobactérie a été évalué en étudiant la :

- Réponse des croissances de cyanobactéries sélectionnées exposées à de fongicide a été analysées.

- Processus physiologiques et biochimiques importants tels que la photosynthèse (pigments), nécessaires pour favorisant la croissance des cyanobactéries ont également été analyses.

Partie 01 : synthèse bibliographique

Chapitre I : Généralité des cyanobactéries

Chapitre I : Généralité des cyanobactéries

I .1 Cyanobactérie

I .1.1 Définition de Cyanobactérie

Les cyanobactéries également appelées (algues ou bactéries bleu-vert) (Demay et al., 2021 ; Perry et al., 2002; J. Zhang et al., 2021), et apparues il y a près 3,5 milliards d'années (Huang & Zimba, 2019). Ils sont naturellement présents dans tous les milieux terrestres et aquatiques (eaux douces et marines) et sont la source d'oxygène atmosphérique et la base du réseau trophique. Les cyanobactéries sont des micro-organismes aquatique non observer par l'œil nu (Algerienne et al., 2020 ; Moreira et al., 2019) et sont des bactéries capables de réaliser la photosynthèse (Lévesque et al., 2017; Nguyen-Deroche et al., 2012 ; Demay et al., 2021 ; toxicologie et al., 2010). Ces organismes photo autotrophes(Bensaci; Koricgi., 2020 ; Rastogi, 2021 ; Ortega-ramos, 2015 ; Tambosi, 2021 ; Zakaria et al., 2020 ; Naturelle, 2017 ;Shinde, 2021). Qui ont une longue histoire d'adaptation qui survit à tous les changements qui se produisent dans les écosystèmes (Université et al. 2021).

Les cyanobactéries présentent une grande diversité morphologique. Ils peuvent être soit solitaires (unicellulaires) soit en colonies, soit organisés en trichomes (sans gaine) ou en filaments (avec gaine) (Toxicologie et al., 2018). Les différentes espèces de cyanobactéries sont généralement identifiées par leurs caractéristiques morphologiques telles que la longueur et la largeur des cellules, la couleur, la forme de l'apex, l'emplacement des granules, la présence de la gaine, la couleur de la gaine, etc. Les conditions environnementales contiennent des caractéristiques importantes pour distinguer les différents genres de cyanobactéries. Présence d'hétérocystes, qui sont des cellules murées (à paroi) et transparentes capables de fixer l'azote atmosphérique (Rastogi, 2021; Barón-Sola et al., 2021). Ils ont la particularité de pouvoir coloniser rapidement un milieu lorsque les conditions environnementales sont favorables (température supérieure à 20°C, eau stagnante, luminosité modérée à élever, forte concentration de nutriments, en particulier de phosphore, principal facteur de développement) (Amrani, 2016). Comme toutes les plantes et les algues, les cyanobactéries synthétisent le pigment verdâtre Chlorophylle α, nécessaire à la réalisation de la photosynthèse (Naturelle, 2017). La plupart des cyanobactéries produisent également les pigments bleutés phycobiline et phycocyanine, qui font apparaître les cyanobactéries bleu-vert, et donc elles sont souvent appelées algues bleu-vert, forment un phylum très ancien (J. Zhang et al., 2021 ; J. Zhang et al., 2021; Demoulin et al., 2019 ;Tamamizu & Kumazaki, 2019 ;Dormoy-Boulanger, 2021 ; J. Zhang et al., 2021 ; Demailly, 2020). De nos jours, les

cyanobactéries jouent encore un rôle crucial dans la production primaire photosynthétique et la fixation d'azote dans divers écosystèmes (Żyszka-Haberecht et al., 2019).

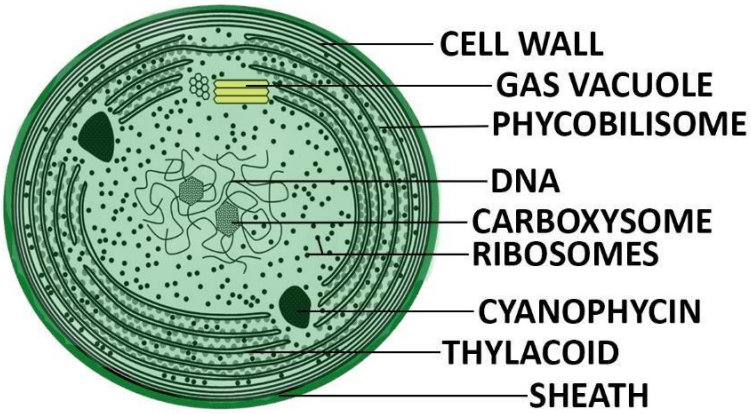


Figure 1: Anatomie de la cellule de cyanobactérie (BojadzijaSavic, 2019).

I.1.2Taxonomie de Cyanobactérie

Les cyanobactéries sont très diverses et se comportent en 03 Ordres : Chrocooccales, Chemesphonales, Hormagomales, et contiennent : 145 genres et 1300 espèces. Il existe plusieurs des principales classifications ; « 6 sections » (Kammerscheit, 2021).

Tableau 1: Une première classification taxonomique. Ils proposaient alors une classification en 6 sections principales (Dutheil&Synechocystis, 2014 ; Asselman, 2014 ; Pau et al. 2022)

Section I	Les Chrocooccales	forme unicellulaire, coque ou bacille
Section II	Les Pleurocapsules	forme unicellulaire ou en agrégat non filamenteuse, par de paroi externe partages ou une matrice gélatineuse
Section III	Les Oscillatoniales	forme filamenteuse non ne forme pas hétérocystes
Section IV	Les Nostocales	forme filamenteuse de largeur égale à hétérocystes
Section V	Les Rivulariales	forme filamenteuse de largeur variable à hétérocystes
Section VI	Les Stignonematales	forme filamenteuse branchés à hétérocystes

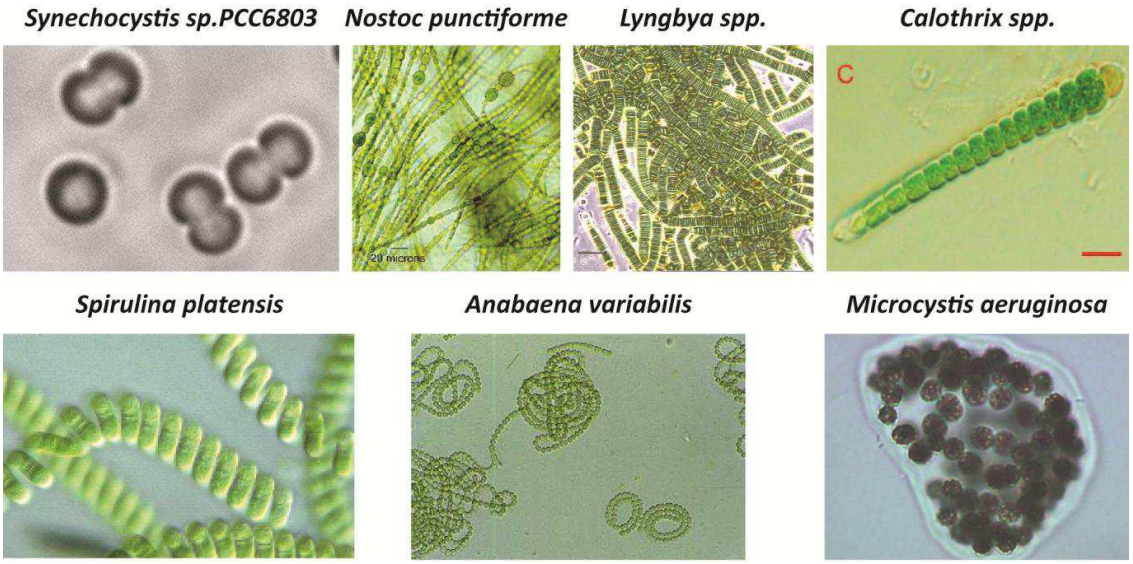


Figure 2 : Principaux genres de cyanobactéries formant des fleurs d'eau (Dutheil, 2013).

I.2 Distribution de cyanobactérie

En milieu aquatique, les cyanobactéries sont dites planctoniques ou pélagiques, si elles prolifèrent en suspension dans la colonne d'eau, ou benthiques si elles sont attachées à un substrat. Grâce à leur grande capacité d'adaptation, les cyanobactéries colonisent la plupart des écosystèmes terrestres et aquatiques d'eaux douce et salée. Certaines espèces sont adaptées à des conditions extrêmes, proliférant par exemple dans la glace, les sources thermales, les eaux ferrugineuses et les pH extrêmes (Lavoie et al., 2007).

I.3 Photosynthèses de cyanobactérie

I.3.1 Définition de photosynthèse et phototrophe

La photosynthèse est un mécanisme biologique le plus ancien et le plus important pour convertir l'énergie solaire en énergie chimique nécessaire à l'ensemble de l'écosystème végétal Ce terme(Ortega-ramos, 2015). Fait référence à la capacité de certains organismes à utiliser l'énergie lumineuse pour assimiler le carbone inorganique, tel que le dioxyde de carbone atmosphérique ou ses différentes formes dissoutes pour les organismes aquatiques, et le convertir en matière organique, tout en libérant de l'oxygène (Dutheil & Synechocystis, 2014). Les micro algues utilisent la lumière du soleil pour fixer le CO_2 de l'atmosphère par la photosynthèse (Rambaldo et al., 2022). Et permettent la production biologique comme le nitrate, la respiration aérobie et la dénitrification. (Perry et al., 2002). Chez ces microorganismes, la photosynthèse a lieu dans les chloroplastes, plus précisément au niveau des membranes des thylakoïdes, à l'interface du lumen et du stroma (Tamamizu & Kumazaki, 2019). C'est là que se trouvent les complexes pigmentaires à la base du processus

photosynthétique. En effet, l'énergie lumineuse est captée par ces pigments et ensuite transférée aux photosystèmes II (PSII) et I (PSI), qui convertissent cette énergie lumineuse en potentiel d'oxydoréduction, permettant ainsi la synthèse des molécules (Khider et al., 2021; Boutray et al., 2018).

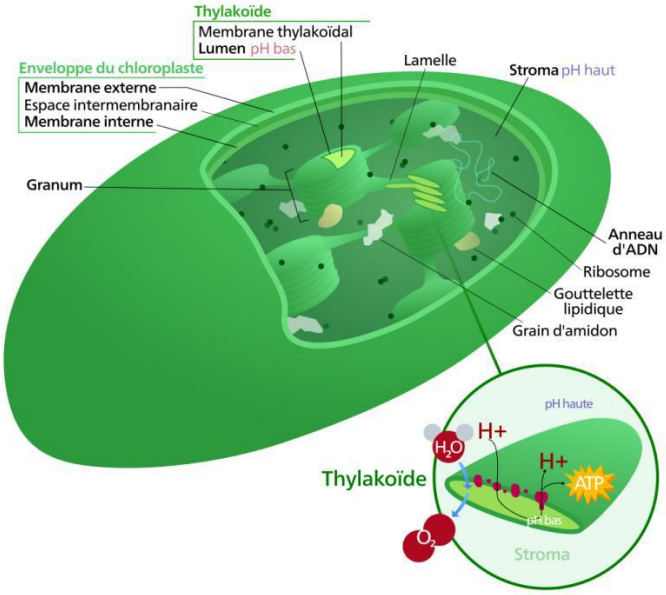


Figure 3: Schéma d'un chloroplaste (Gaignard,2022) .

Le bilan global de la photosynthèse peut être résumé par la réduction de 6 molécules de CO_2 par 12 molécules de H_2O grâce à l'énergie lumineuse :

$$6\ CO_2 + 12\ H_2O + \text{lumière} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 + 6\ H_2O$$

Cette conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique ou biochimique se décompose en deux phases distinctes liées par des intermédiaires communs : la phase claire (ou lumineuse, ou photochimique) et la phase sombre (ou obscure, ou biochimique). Ces phases réactionnelles se déroulent au sein du chloroplaste de la microalgues(Gaignard,2022).

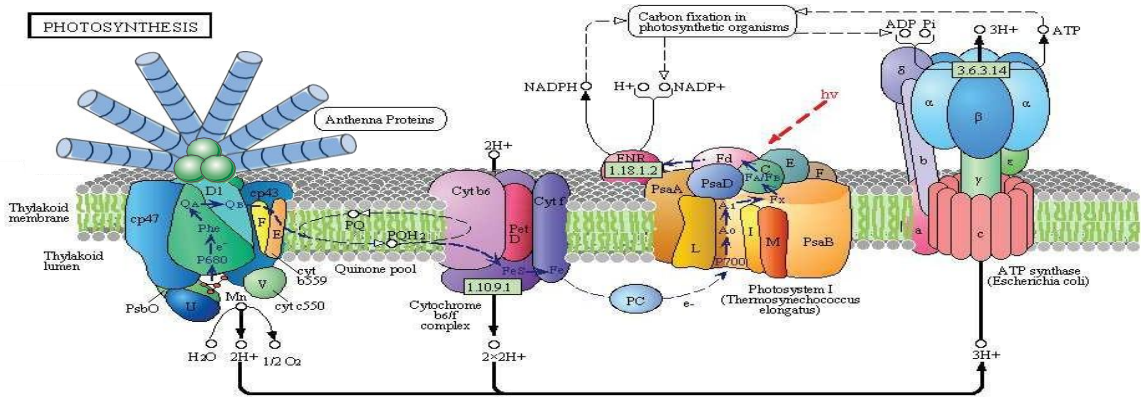


Figure 4 : Les complexes photosynthétiques et la chaîne de transport d'électrons (Confalonieri et al. 2018).

I.4 Métabolisme de cyanobactérie

I.4.1Définition

Le métabolisme est un ensemble de processus complexes qui transforment la matière et l'énergie par les cellules ou par l'organisme (Kammerscheit, 2021).

I.4.2 Différents types trophiques

Pour vivre, les organismes doivent donc extraire de l'énergie de l'environnement et la convertir en énergie compatible avec leurs capacités métaboliques (= source d'énergie). Ils doivent également trouver dans leur environnement des composés donneurs d'électrons (= source d'électrons) et prendre les précurseurs nécessaires pour développer leur propre matière (= source de carbone). Selon la nature de ces 3 sources, on distingue différents types trophiques comme le montre le tableau 3. Selon ce tableau, les cyanobactéries sont des organismes *Photolithoautotrophe* et possèdent donc les éléments suivants : source d'énergie : lumière, captée lors de la phase photochimique de la photosynthèse, source d'électrons : eau, oxydée en O_2 lors de cette même phase de photosynthèse, source de carbone : CO_2, assimilé lors de la phase non photochimique de la photosynthèse.

Tableau 2: Les différents types trophiques de cyanobactérie (Kammerscheit, 2021)

Source d'énergie	**Source d'électrons**	**Source de carbone**	**Type trophique**	**Exemple**
Lumière ***Photo-***	Inorganique ***-litho-***	Minérale (CO_2) - ***autotrophe***	***Photolithoautotrophe***	Algues, bactéries photosynthétiques sulfureuses (pourpre-verte) &**cyanobactéries**

5- Les différent stress pour cyanobactérie

I.5 Définition de stress

La cyanobactérie qui vie dans la condition normale et naturelle dans ce cas pas des stress sur la cellule de cyanobactérie c-à-dire toutes les conditions sont favorable telle que : température, la lumière, nutriment, mais dans le cas il y a une condition anormale et n'est pas naturels pour la cyanobactérie donc se cas qui appelée (stress sur la cyanobactérie) ci-t-à-dire

il y a modification de conduction environnementales telle que (la variation de température) (Kammerscheit, 2021).

Il existe plusieurs types de stress, on distingue = stress biotique : " compétition avec d'autres organismes ", stress abiotique : qui se décompose en deux parties : stress physique : " stress léger, thermique ", stress chimique : " stress oxydatif, métallique " (Kammerscheit, 2021).

I.5.1 Les stress auxquels les cyanobactéries confrontées

Il existe différents types de stress auxquels les cyanobactéries sont naturellement et fréquemment confrontées : (cas anormaux de condition = stress pour la cyanobactérie) (Kammerscheit, 2021).

I.5.1.1 stress photo-oxydant

A l'instant où la cyanobactérie réalise la photosynthèse et libère, donc du dioxygène qui peut se recombiner avec l'électron en excès, cette action qui se fait en cas (d'excès de lumière) et qui forme aussi des "espèces réactives de l'oxygène" (ERO) ou (ROS) pour "espèces réactives de l'oxygène", donc les stress sont : le stress lumineux et le stress oxydatif, c'est à dire (la lumière est très forte) et le ROS qui donne le stress oxydatif (Kammerscheit, 2021).

I.5.1.2 Stress métallique

Les métaux jouent un rôle biologique : sont pressants en faible concentration et nécessaires à la croissance des cyanobactéries (conditions favorables). La concentration plus élevée de métaux, qui peuvent devenir toxiques. Ils altèrent les fonctions cellulaires et génèrent souvent un stress oxydatif, donc qui les nomme par : Stress métallique (condition défavorable)(Kammerscheit, 2021).

I.5.1.3 stress thermique

La grande variation de température dans leur habitat de cyanobactéries. (Température ±) (Kammerscheit, 2021).

I.5.1.4 stress métabolique

Dans le cas où il existe des souches de cyanobactéries hétérotrophes facultatives, c'est-à-dire possédant la capacité de se développer en fonction du glucose comme source de

carbone et d'énergie (de la présence à l'absence de lumière), dans ce dernier cas la « mixotrophie » : (glucose + lumière) qui induit (stress oxydatif). Dans le cas de la synthèse métabolique endogène toxique qui implique la carbonylation de protéines telles que : le « méthylglyoxal » qui synthétise ces dernières par deux voies métaboliques = (catabolisme du glucose + photosynthèse), qui provoque (stress oxydatif) (Kammerscheit, 2021).

I.5.1.5 Stress xénobiotique

La présence d'une molécule étrangère à la physiologie de la cyanobactérie qui se nomme : 'xénobiotique' c'est-à-dire que la molécule n'est pas endogène, c'est une molécule exogène à la physiologie de la cyanobactérie. Par exemple : les terpènes qui sont synthétisés par la cyanobactérie génétiquement modifiée (dans le cas de la cyanobactérie qui habite les polluants)(Kammerscheit, 2021).

I.5.2 Les différentes sources de stress chez les cyanobactéries

I.5.2.1 Le stress oxydant

Les espèces réactives de l'oxygène (ERO) sont des sous-produits du métabolisme aérobie et de puissants agents qui causent des dommages oxydatifs. Dans les organismes photosynthétiques oxygénés tels que cyanobactéries, les ERO sont inévitablement générés par le transport photosynthétique des électrons, surtout lorsque l'intensité du transport d'électrons entraîné par la lumière dépasse le taux de consommation d'électrons lors de la fixation du CO_2. Parce que les cyanobactéries dans leur état naturel l'habitat sont souvent exposés à des conditions externes changeantes, telles que fluctuations des intensités lumineuses, leur capacité à percevoir les ERO et à initier rapidement défenses antioxydants est cruciale pour leur survie (Latifi et al., 2009).

I.5.2.1.1 Les différentes espèces réactives de l'oxygène (ERO)

Les ERO qui sont présents dans notre atmosphère (Azone, O_3) ou qui sont générés par la « photosynthèse », la « respiration » et le « métabolisme ». Les ERO correspondent à plusieurs états d'oxydation de l'oxygène. Il est agité par : anion superoxyde ($O_2^{\cdot-}$), peroxyde d'hydrogène H_2O_2 , radical hydroxyle ($OH^{\cdot}$), oxygène singulet ($^1O_2$) (Barón-Sola et al., 2021).

I.5.2.1.2 Les différentes sources des ERO

i. Les ERO exogènes

Soit ***physiquement*** : rayonnements (rayons alpha, bêta, gamma et rayonnement lumineux UV), Soit ***chimiquement*** : « agent chimique oxydant » utilisé en laboratoire, «

composés chimiques » tels que : (alcool, aromatique, pesticide), Soit par certains oxydes métalliques : "le sélénium" qui induit des strass oxydants, Ou par voie biologique, le phytoplancton : c'est une source importante (Kammerscheit, 2021).

ii. Les ERO endogènes générés par la photosynthèse

En présence de fortes (intensités lumineuses) qui induit la production d'ERO qui s'associe au transfert d'électrons dans le PSII (Kammerscheit, 2021).

I.5.2.1.3 Les différentes conséquences d'ERO à l'échelle moléculaire et cellulaire

Dans le cas du système de défense « antioxydant » faible et du stress élevé donc : l'ERO qui provoque des effets directs sur les constituants cellulaires tels que : effets de l'ERO sur l'ADN, les protéines et les lipides...etc.(Kammerscheit, 2021).

Chapitre II :
Les Pesticides

Les Pesticide

II .1 Généralité

Le mot "pesticide", terme générique dérivé des termes latins "caedere" (tuer) et « pestis » (fléau), qui a été incorporé dans la langue anglaise dans les années 1940 puis dans la langue française à la fin des années 1950, est utilisée à la fois dans le langage courant et scientifique (Di Cesare, 2018). Le terme "pesticides" représente toute substance naturelle ou synthétique, ou c'est un mélange de substances utilisées pour éliminer, lutter ou diminuée tout être vivant nuisible à l'agriculture(Teklu et al., 2023 ; Asmaâ, 2017). Les pesticides sont utilisés partout sous en grande quantité pour protéger les cultures contre les ravageurs et les mauvaises herbes et utilisés à grande échelle à travers le monde pour lutter contre les "champignons" et les "insectes", donc les pesticides en général comme fongicides, insecticides, herbicides, bactéricides, etc.»(Padhy, 1985 ; Weiss et al., 2023 ; AKPO et al., 2016). Ces produits chimiques ont également des effets néfastes sur l'environnement comme la détérioration des écosystèmes aquatiques, il existe plusieurs pesticides qui agissent comme des perturbateurs endocriniens. (Arévalo-Cortés et al., 2022; Kasprzyk-Hordern et al., 2023). Les pesticides présents dans différents écosystèmes environnementaux ou en particulier dans les sols présentent certaines caractéristiques telles qu'une lipophile élevée, une bioaccumulation et une longue demi-vie. (Ibtissem, 2020)

II .2 Classification

Ces substances qui peuvent être classés en plusieurs groupes selon plusieurs critères :l'origine des pesticides / famille chimique , la nature de la cible (Ibtissem, 2020). Selon la formulation (Bagayogo et al.2020).

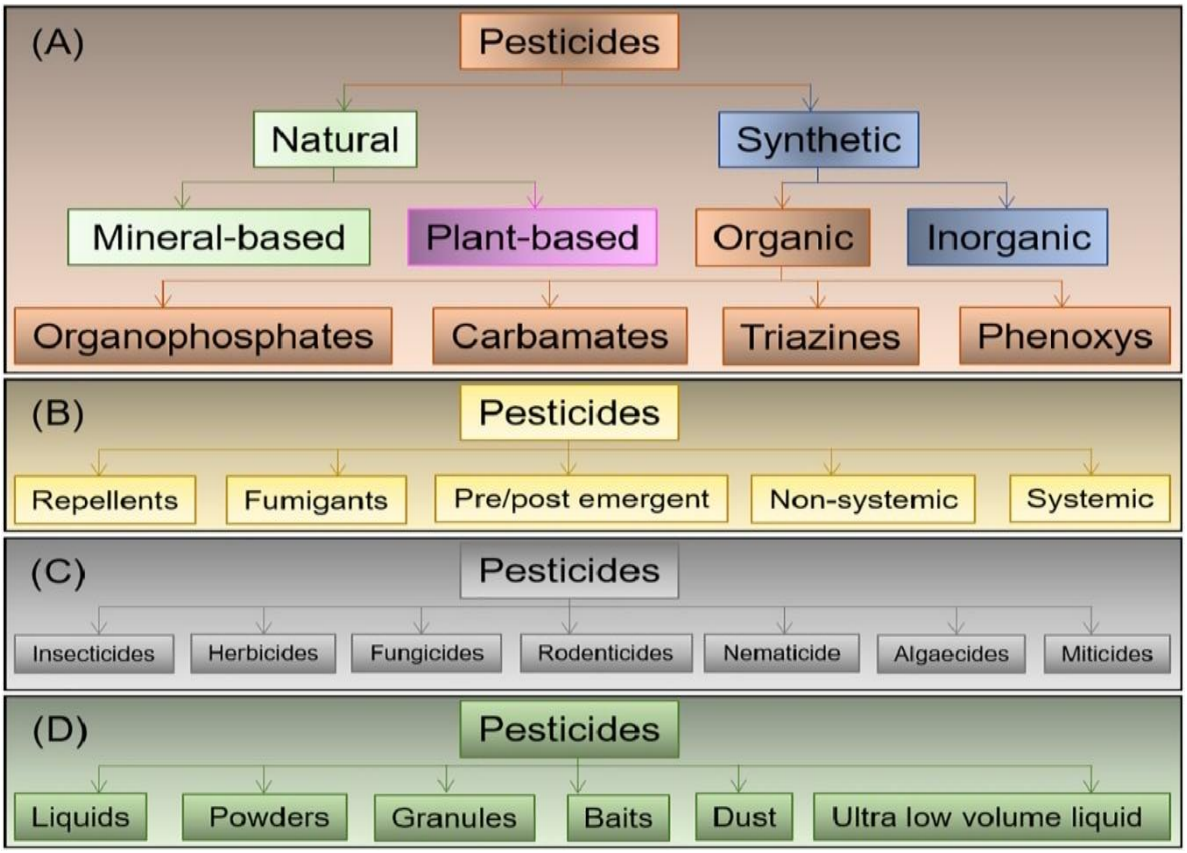


Figure 5 : Classification des pesticides (Bilal et al. 2019).

II .2.1 Selon les propriétés chimiques

Trois catégories sont distinguées : les pesticides organiques, organométalliques et inorganiques (Aislabie & Lloyd-Jones, 1995).

II .2.1 Les pesticides organiques

Ce sont des produits carbonés synthétiques ou naturels, Il est d'origine animale ou végétale ou microbienne comme les "organochlorés, organophosphorés, carbamates...etc"... On les retrouve en grand nombre. Ils possèdent un squelette carboné et appartiennent à des familles chimiques différentes selon les atomes constituant la structure de base de la molécule et les fonctions chimiques qui lui sont associées (Ibtissem, 2020).

II .2.1.1 Les organochlorés (OCPS)

Les organochlorés sont des produits chimiques stables qui sont très persistants dans l'environnement. Ce sont des molécules chimiques de nature lipophile (Hassaan&Nemr, 2020). Les pesticides organochlorés (OCPS) sont utilisés dans le monde entier pour lutter contre les ravageurs agricoles (Ben et al. 2021). Ont été largement utilisés dans les secteurs de l'agriculture et de la santé (Sultan et al. 2023). Les organochlorés sont souvent extrêmement

toxiques pour des nombreux animaux et plantes autres que les insectes cibles, comme le phytoplancton (Egbe et al., 2021 ; Idowu et al., 2022).

II .2.1.2 Les organophosphorés (OP)

Les composés organophosphorés (OP) sont une classe vaste et diversifiée de produits chimiques caractérisés comme des stress de l'acide phosphorique et de ses dérivés avec diverses combinaisons de carbone, d'oxygène et de soufre ou avec de l'azote attaché (Ore et al., 2023; Martínez-Aguilar et al., 2018 ; Samare et al., 2020 Mangas et al., 2017).Un organophosphoré pesticide huit fois plus toxique (Baldissera et al., 2021).

II .2.1.3 Les carbamates

Certains composés sont des dérivés organiques de l'acide diméthyl N-méthyl carbamique et sont utilisés comme herbicides, insecticides, nématicides et fongicides et sont appelés carbamates. La toxicité des composés carbamates varie selon la "structure moléculaire". La durée de vie de ces composés chimiques est plus courte que celle des organophosphorés et des organochlorés (Hassaan&Nemr, 2020).

II .2.1.4 Les pyréthroïdes de synthèse

Ce sont des dérivés de la molécule pyréthrine, présente dans la fleur de pyrèthre, qui possèdent une activité insecticide (Hassaan & El Nemr, 2020).

II .2.2 Les pesticides organo- métalliques

Ce sont des fongicides dont la molécule est constituée, par exemple, d'un métal tel que le zinc ou le manganèse, associé à un anion organique de dithiocarbamate(Ibtissem, 2020).

II .2.3 Les pesticides inorganiques

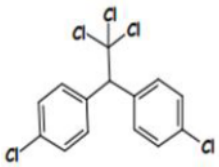
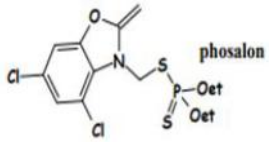
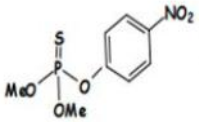
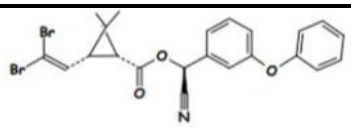
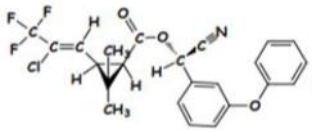
Ce sont des éléments chimiques présents en petite quantité qui ne se dégradent pas. Ils ne contiennent pas de carbone dans leur structure et dérivent de composés minéraux stables dans le milieu naturel, tels que le soufre et le cuivre (Ibtissem, 2020).

II .2.4 Les biopesticides

Ce sont des substances dérivées de plantes ou d'animaux. Elles peuvent être constituées d'organismes tels que : les moisissures, les bactéries, les virus, les nématodes (Ibtissem, 2020).

Tableau 3 : Quelques structures chimiques caractéristiques de certaines familles de pesticides

Famille chimique	**Exemple de pesticides**

Organochloré	 DDT
Organophosphoré	 phosalon  Mathyl parathion
Pyréthrenoïdes	 deltaméthrine  lambdacyhalothrine

II .2.2Selon les organismes vivants ciblés

II .2.2.1 Les insecticides

Ce sont les pesticides les plus couramment utilisés en Algérie. Ils sont destinés à éliminer les insectes nuisibles (Ben Salem, 2015).

II .2.2.2 Les fongicides

Ils sont utilisés pour lutter contre la prolifération des champignons pathogènes. Ils sont efficaces contre les maladies cryptogamiques qui causent des dommages importants aux plantes cultivées (Ben Salem, 2015).

II .2.2.3 Les herbicides

Ils éliminent les mauvaises herbes. Ce sont les phénoxydes, les triazines, les amides, les dinitro-anilines dérivées de l'urée, les sulfonylurées et les uraciles. On distingue notamment : Les acaricides (contre les acariens) ; Nématicides (toxiques pour les vers du groupe des nématodes) ; Rodenticides (contre les rongeurs); Molluscicides (contre les mollusques tels que les limaces et les escargots) ; Corvicides et corvifuges (contre les corbeaux et tous les oiseaux nuisibles aux cultures) (Singh et al., 2016).

II .2.3 Selon la formulation

II .2.3.1Les formulations sèches ou solides

Sont sous forme Poudres mouillables ou solubles dans l'eau ; granulés à disperser dans l'eau ; granulés et micro granulés ; microcapsules ; poudres (Bagayogo et al., 2020).

II .2.3.2 Les formulations mouillées ou liquides

Sont sous forme desolutions concentrées solubles ; concentrés émulsifiable suspensions liquides concentrées aqueuses et non aqueuses(Bagayogo et al., 2020.).

II.3 Avantages et dangers des pesticides

Les pesticides sont ambivalents. Nous les utilisons car ils apportent de nombreux bienfaits à l'être humain, bien qu'ils présentent également des risques pour la santé, notamment en raison de leur toxicité (Di Cesare, 2018).

II .3.1 Avantages des pesticides

Les principaux avantages sont les suivants : les bénéfices de l'utilisation des pesticides qui sont importante pour l'agriculture. Améliorer la productivité .Des avantages considérables a été tirés de l'utilisation des pesticides dans la foresterie, la santé publique et la sphère domestique (Di Cesare, 2018).

II .3.2 Dangers des pesticides

Les dangers des pesticides sont causés par leur propre toxicité. Les effets sont différents en ce qui concerne les aigus et toxicité chronique (Di Cesare, 2018).

Chapitre III :
Impacte de Pesticide sur les cyanobactéries

III.1 Analyse physiologique de cyanobactérie

III.1.2 Inhibitions de photosynthèse de cyanobactérie par le pesticide

La plupart des pesticides agissent sur les organismes photosynthétiques. La majorité des inhibiteurs de la photosynthèse ciblent le photosystème II, qui est également présent chez les cyanobactéries avec quelques différences concernant les pigments capteurs de lumière. La mort cellulaire est induite par la photo peroxydation des thylakoïdes et d'autres lipides des membranes cellulaires, résultant de la production de radicaux superoxydes(Beaulieu et al., 2014).

Ces pesticides agissent principalement en bloquant la chaîne de transport des électrons au niveau du photosystème II lors de la photosynthèse (Sciences & Mer, 2008). Ils se lient au site de liaison de la plastoquinone (QB) sur la protéine D1. Étant donné que QB ne peut pas être réduite par les électrons, ces derniers restent bloqués au niveau de QA. Cela entraîne une accumulation d'énergie au niveau du PSII, et si cette énergie n'est pas dissipée par les mécanismes de protection mentionnés précédemment, elle endommage de manière importante les composants cellulaires et entraîne la mort.(Chalifour, 2014). En fin, le pesticide qui se déminer l'activité photosynthétique (Demailly, 2020). Le pesticide peut être qui produire des graves sur la photosynthèse et la fixation d'azote des cyanobactéries, interférer avec le comportement membranaire, et inhiber les processus métaboliques des cyanobactéries testées de manière synergique, antagoniste, additive, ou de manière différente (Pandey & Rai, 2002).

III.2Inhibitions de croissance

Une diminution du taux de croissance a été observée suite à une contamination par le pesticide (Demailly, 2020). La présence excessive de contaminants (pesticides) entraîne une compétition pour l'absorption des nutriments essentiels nécessaires au fonctionnement enzymatique, ce qui limite le métabolisme cellulaire et conduit à la mort cellulaire(Rastogi, 2021). Les enzymes font partie des algicides susceptibles produisent des bactéries algicides. Ces composés peuvent inhiber la croissance des algues de diverses manières, telles que la réduction de l'activité du système photosynthétique des cellules algales, inhibant l'expression de gènes liés à la photosynthèse, produisant dommages oxydatifs et inactivation des enzymes antioxydants, et perturbant le métabolisme normal des ions intracellulaires (Lyu et al., 2022).

III.3 Analyse biochimique de cyanobactérie

III .3.1 Inhibiteurs de la biosynthèse d'acides gras

Plus de 58 herbicides agissent en tant qu'inhibiteurs d'acides gras. Ces pesticides inhibent l'acétyle-COA carboxylase ou bien agissent sur les autres sites essentiels à la synthèse des acides gras très longs. Le métolachlore est un chloroacetamide qui inhibe la croissance par l'inhibition de l'élongation de C16 et C18 des acides gras à longues chaines.

III .3.2 Inhibiteurs de la biosynthèse d'acides aminés

Contrairement aux animaux, les plantes doivent synthétiser leurs propres acides aminés. La biosynthèse des acides aminés gras est une cible préférentielle pour les herbicides, car il n'existe pas de sites équivalents chez les mammifères. Le glyphosate est un dérivé de glycine inhibiteur de la synthèse d'acides aminés aromatique. Le glyphosate inhibe l'enzyme 5-énolpyruvoylishikimate 3- phosphate synthase (EPSPS) qu'on retrouve principalement dans les plastides, mais aussi dans le cytoplasme. L'accumulation de shikinate-3-phosphate mène au blocage de la production d'acides aminés aromatiques. L'imazéthapyr est un inhibiteur de l'acétolactate synthase (ALS). Cet herbicide inhibe la formation d'acides aminés à branchements (valine, leucine, isoleucine). La surproduction d'EPSP synthase ou la production d'une forme de l'enzyme tolérante au glyphosate chez les cyanobactéries pourrait être à l'origine de la tolérance de ces organismes au pesticide(Beaulieu, al 2014). Herbicide (sulfonylurée) qui inhibe la biosynthèse des acides aminées essentielles valines et isoleucine ; Il stoppe donc la division cellulaire et croissance des cyanobactéries (Sciences & Mer, 2008) .

Chapitre IV :
La défense de cyanobactérie contre Les Pesticides

IV.1 Introduction

Le stress oxydatif est une conséquence courante du stress abiotique chez les (plante) ainsi que chez (les cyanobactéries) causes par la génération d'espèces réactives de l'oxygène (ROS), agissent comme molécule de signalisation à faible concentration dans le cas dépasse la capacité de système de défense antioxydant. Les lignée commune contre les plante eucaryotes et les cyanobactéries, est la régulation de système glyoxalate (GSH) et du mécanisme de défense antioxydant 'enzymatique et non enzymatique' dans la lutte contre le stress abiotique chez les cyanobactérie (Rai et al., 2021).

IV.1.2 Le différent mécanisme de défense

La cyanobactérie qui utilise le système glyoxalate (GSH) et le mécanisme de défense antioxydant pour la détoxification et lutte contre les stress abiotiques (Nguyen-Deroche, 2008). On classé les antioxydants en deux grandes catégories : les antioxydants endogènes (enzymatiques) et les antioxydants exogènes (non enzymatiques) (hocine & GORINE, 2017).

Tableau 4 : Système antioxydant enzymatique et non-enzymatique chez les micro algues et les cyanobactéries (Nguyen-Deroche, 2008).

	Enzymatique	Non enzymatique
Type de système antioxydant	*Superoxyde dismutases (SOD) Peroxydases (non-spécifiques) *Ascorbate peroxydase (APX) *Catalase *Glutathion réductase (GSH réductase) Glutathion S-transférase *Déhydroascorbate réductase (DHA réductase) *Monodéhydroascorbate réductase (MDHA réductase)	*Glutathion *Acide ascorbique (vitamine C) *α-tocophérol (vitamine E) *β-carotène (vitamine A)

IV.1.2.1 Les mécanismes de défense antioxydant

Les espèces de cyanobactéries présentent une adaptation potentielle stratégies contre les stress oxydatifs principalement par l'activation du système de défense antioxydant qui

comprend l'activation de diverses enzymes (superoxyde dismutase, catalase, glutathion réductase et ascorbate peroxydase) (Singh et al., 2017).

IV.1.2.1.1 Antioxydant enzymatique

Les cyanobactérie implique à la synthèse plusieurs type des enzymes de détoxification et la défense contre ERO (Chalifour, 2014). Toute qui considère comme 'antioxydant' qui diminué l'oxydation. Par exemple : *synechoccos s.p* qui contrait la capacité pour l'augmentation de l'activité de 'antioxydant' pour résister contre les stress oxydatif (comme=ERO), qui utilise antioxydant comme : GST / GSX (Y. Zhang et al., 2023).

IV.1.2.1.1.1 Superoxyde dismutase (SOD) :

Les SOD sont la première ligne de défense contre les ROS et leur présence peut être remarquée dans tous les organismes. Les SOD coordonnant avec des cofacteurs métalliques spécifiques formes par des complexes protéique homodimères, qui agissent comme un catalyseur dans le processus de dissimulation du radical superoxyde en HO et O_2(Rai et al., 2021).

IV.1.2.1.1.2 Catalase (CAT) :

Les catalases appartiennent à la catégorie des enzymes antioxydants bien caractérises pour la détoxification de l'hydroperoxydes qui clivent la liaison peroxydique dans le peroxyde l'hydrogène (H-O-O-H) pour forme O_2 moléculaire (Rai et al., 2021). au sien par d'autre façon qui définit la catalase (CAT) qui réduit très efficacement de (H_2O_2) au libérant du dioxygène et de l'eau (Nguyen-Deroche, 2008).

IV.4.2.1.1.3 Peroxydases (PRXS) :

Les peroxydases appartiennent à la famille omniprésente des enzymes antioxydant .la première cyanobactérie possède des gènes codant pour (PRXS) était *Synechocystis Pcc6803*.PRX sont plus efficace que les catalases grâce que l'organisme (ARG) conservée au site actif de tous PRX absence le pka de la cystéine peroxydatique au stabilisant sa forme thiolate(Rai et al., 2021).

IV.1.2.1.1.4 Protéines de liaison à l'ADN : (DPS)

Ces protéines sont des complexes hexamèriques d'environ 15 KDa et Jouent un rôle multiple en utilisant divers attribué on distingue : la chélation des métaux en activant leur

activité peroxydase, la liaison à l'ADN avec une spécification de séquence marginale, la régulation de l'expression des gènes et la production des cellules contre l'oxydation (Rai et al., 2021).

IV.1.2.1.2 Les antioxydants non enzymatiques

IV.1.2.1.2.1 L'Ascorbate :

L'ascorbate (Asc) ou vitamine C est un composé soluble abondant (10-100 mM chez les végétaux). Son activité antioxydante peut être directe (par élimination des espèces réactives de l'oxygène, ERO) ou indirecte. L'Asc est capable de piéger efficacement les radicaux superoxydes et l'oxygène singulet. Bien qu'il soit soluble, l'Asc est impliqué dans la protection des membranes contre la peroxydation lipidique en éliminant les radicaux libres produits dans le cytosol. En cédant un atome d'hydrogène aux radicaux, il s'oxyde en Monodéhydroascorbate (MDHA), puis en Déhydroascorbate (DHA). L'Asc peut être régénéré par des Monodéhydroascorbate réductases (MDHAR) et des Déhydroascorbate réductases (DHAR) qui utilisent respectivement le NADPH et le GSH comme sources d'électrons. L'Asc est également capable de réduire l'α-tocophérol afin de régénérer l'activité antioxydante de ce composé. L'ascorbate joue également un rôle de cofacteur pour l'ascorbate peroxydase, une enzyme ayant une activité antioxydante qui permet l'élimination du peroxyde d'hydrogène (Cerveau, 2016).

IV.1.2.1.2.2Ergothionéine (EGT) :

L'ergothionéine est un métabolite de l'histidine bétoine thiol qui piège les espèces oxydantes autre que les radicaux libres, il y a plusieurs espèces de cyanobactérie, telle que (Pharmidium, Arthrospira maxima, Scytonema, Oscillatorise), produisent de grandes quantités d'ergothionéine (EGT) qui fonctionne comme un antioxydant et un cytoproducteur stables (Rai et al., 2021).

IV.1.2.2.3 Les caroténoïdes :

Les caroténoïdes agissent en tant que modulateurs de l'homéostasie membranaire et de la production de l'appareil photosynthétique pour protéger contre les dommages oxydatifs induits par le stress abiotique. Ces molécules hydrophobes jouent un rôle protecteur en préservant le PSII et le PSI des dommages oxydatifs causés par la surexcitation des phycobilisomes (PBS). On les trouve couramment sous forme de β-carotène et de divers types

de xanthophylles, qui font partie intégrante de la membrane cytoplasmique et des thylakoïdes (Rai et al., 2021).

IV.1.2.1.2.4 La vitamine E :

La vitamine E ou (α-tocophérol) est un composant important des cellules animales exclusivement synthétisé par des organismes photosynthétiques dont les cyanobactéries. Qui donne un rôle de la protection le PSII de la peroxydation lipidique introduite par le stress abiotiques et des dommages à l'ADN en modelant le piégeage accru des radicaux libres .C'est accumulé dans les cyanobactéries sous une concentration réduite de nitrate (Rai et al., 2021).

IV.1.2.1.2.5 Les acides aminés le type mycosporine (MAA)

Sont exclusivement impliques dans l'absorption des rayonnements UV-A et UV-B nocifs et dans la dissipation de fragmentation de l'énergie excédentaire sous forme de chaleur, protégeant, ainsi la fragmentation des filaments les membranes cellulaires, l'ADN, les protéines et d'autres molécules des dommages oxydatifs. Les cyanobactéries sont le principal producteur de MAAs sous forme de MAA-glycine et MAA- glycosides, ils sont principalement considérés comme des agents de protection solaire qui protègent les cyanobactéries des rayonnement UV nocifs ainsi que de la forte intensité des rayonnement photosynthétiquement actif en éteignant efficacement l'oxygène singlet. De plus les MAAs comme (Shinorme et porphyra-334) est liés au système de défense antioxydant et la régulation de l'expression de la protéine du choc thermique 70 (Hsp70). Ainsi que leur rôle dans l'industrie pharmaceutique (Rai et al., 2021).

IV.1.2.1.2.6 Lascytonémine :

La scytonémine sous forme de pigment de gêne extracellulaire soluble dans les lipides Jaune-brun de masse moléculaire 544 Da dans certaines cyanobactéries terrestres. La scytonémine est produite lors de l'exposition à une forte lumière et à des températures élevées. Le rôle phytoprotecteur de la scytonémine a été analysé chez divers lichens cyanobactéries terrestres ou son accumulation dans la gaine extracellulaire agissent comme un écran solaire UV protégeant ainsi la partie externe du thalle. De plus ont également

signale le rôle potentiel de la scytonémine dans l'amélioration des dommages oxydatifs lysobacteraestuari sous salinité (Rai et al., 2021).

IV.1.2.1.2.7 Les glutathion :

Le glutathion (GSH) est également un antioxydant soluble très abondant dans les cellules. Le statut redox du couple GSH/GSSG est un bon indicateur de l'environnement redox des cellules la glutathion réductase maintient ce statut en réduisant le GSSG en GSH le groupement-SH du GSH peut protéger directement les cellules contre les espèces réactives de l'oxygène (ERO) en piégeant les radicaux libres ou en agissant comme un cofacteur pour les enzymes de détoxication des (ERO) telles que les glutathion peroxydases et les DHAR Le GSH pourrai tout comme l'acide ascorbique participer au processus de régénération de l'α-tocophérol en tant que donneur d'électrons et d'hydrogène (Cerveau, 2016).

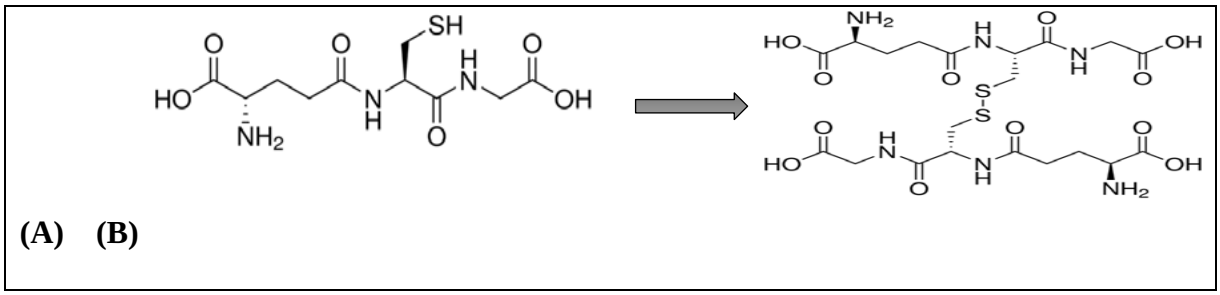


Figure 6 ; Formules développées du glutathion réduit (A) et du glutathion oxydé (B) (Pierre-Alexandre LALLEMENT, 2014)

IV. 2.2 Voies de la glycoxalase

C'est une efficace de détoxification du (méthylglyoxal) (MG). La voie de la glyoxalase qui présente dans tous les domaines de la vie, y compris les plantes, les animaux et les bactéries. (Rai et al., 2021). Le glyoxalase sont considérées comme « protéines essentielles à la vie » (Kargatov et al., 2018), jouant un rôle physiologique important en modulant les dommages oxydatifs causés par méthylglyoxal (MG). MG induit un stress oxydatif via la génération de superoxyde, radicaux libres peroxyde et peroxynitrite et inhibe également les activités de diverses enzymes cytosolique impliquées dans la défense antioxydante telles que glutathion S-transférase (GST), et cytosolique ascorbate peroxydase (APX).La voie de la glyoxalase consiste en deux enzymes, la glyoxalase I (GLYI) et la glyoxalase II (GLYII) qui détoxifie un métabolite hautement cytotoxique, le méthylglyoxal (MG), en sa forme non toxique. Le rôle des enzymes glyoxalase a été crucial dans la salinité, la sécheresse et la tolérance au stress des métaux lourds (Ghosh & Islam, 2016).

IV.1.2.3 la biodégradation de cyanobactérie

Les différents microorganismes impliqués dans le processus de biodégradation des pesticides comprennent les bactéries, les champignons et les cyanobactéries. La biodégradation est une méthode efficace et respectueuse de l'environnement qui consiste à décomposer les produits chimiques toxiques en composés non toxiques grâce à l'action des microorganismes. Les cyanobactéries sont des organismes prometteurs dans le domaine de la biodégradation et jouent un rôle important dans la dégradation des pesticides (Zakaria et al. 2020).

Parties Expérimentales : Matériels et méthodes

I.1- Organismes expérimentaux et conditions de croissance

I.1.1 Organismes expérimentaux

Les cyanobactéries *Spirulina*(*Arthrospira ou Limnospira*)a été utilisées comme organismes expérimentaux dans la présente étude.

a) Spirulina

La spiruline, qui fait partie des cyanobactéries, est l'une des plus anciennes formes de vie "photosynthétique", originaire de la Terre il y a environ 3,5 milliards d'années. La spiruline est souvent considérée comme une algue flottante microscopique. En fait, il s'agit d'une bactérie appartenant à la cyanobactérie filamenteuse du genre *Arthrospira*, qui est généralement enroulée en spirale, d'où son nom commercial.

La spiruline est une algue bleu-vert microscopique d'une longueur moyenne d'environ 250 µm. Il se compose de filaments mobiles de 10 à 12 µm de diamètre, non ramifiés et généralement 6 à 7 enroulés en hélice. Cette forme en spirale ressemble à une petite plume (Toxicologie et al., 2018).



Figure 5: La morphologie de la spirulina

I.1.2 Incubation et maintien de la culture

Des inocula purs et sains de cyanobactéries*Spirulina* . A été transférés dans un milieu de culture frais, milieu de Zarrouk dans le carton c des d'inoculation avec des précautions spéciales pour maintenir la pureté de la culture.

I.1.3 Milieu de culture (Zarrouk)

Les cyanobactéries *Spirulina* a été cultivées dans un milieu culture Zarrouk. Avant l'autoclavage, le pH du milieu a été ajusté à [8.95-9.05]. Le milieu de culture est composé comme suit :

Tableau 3: La Composition de Milieux Zarrouk dans 1L d'eau Ultra pure

Compositions	Quantités (g/l)
$NaHCO_3$	16.8
K_2HPO_4	0.5
$NaNo_3$	2.5
K_2SO_4	1
Na Cl	1
$MgSO_4$	0.2
$CaCl_2$	0.04
$FeSO_4$	0.01
EDTA	0.08
Solution 5	1
Solution 6	1

I.1.4 Verrerie et produits chimiques

I.1.4 .1 Autoclave

Les milieux de culture ont été stérilisés (processus de stérilisation humide) dans un autoclave. Le milieu de croissance a été préparé dans des flacons, bouchés avec du coton et, après avoir été correctement enveloppés avec du papier, les flacons ont été stérilisés à une pression de 15 lb inch-2 et à une température de 121 °C pendant 15 minutes. Avant l'autoclavage, la quantité souhaitée de milieu a été versée dans une verrerie de taille appropriée, correctement bouchée avec du coton.

I.1-5 Expression de dépistage

Pour la sélection des doses de pesticide, c'est-t-à-dire fongicide plusieurs montages de criblage ont été prévus. Des cyanobactéries cultivées en phase logarithmique ont été utilisées pour le traitement de 30 µg/l fongicide Belt (BLT) sur la base de EC 10 et EC 30 ont été sélectionnées après 96h de traitement, respectivement, pour spirulina.

I.1.6 Conception de traitement

Les cultures *SpirulinaPlatensis* de la phase exponentielle précoce ont été récoltés par centrifugation à 3500 g pendant 10 min et lavés deux fois avec de l'eau distillée, puis les

culots ont été remis en suspension dans des milieux de culture respectifs contenant 10 mg/l, 15 mg/l, 20 mg/l, 25 mg/l, 30 mg/l concentrations de pesticides additionnés BLT. Il y avait dix répétitions (n = 10) pour chaque traitement et tous les paramètres ont été analysés après 96 h d'expérience en prélevant des volumes définis de cultures. Le dispositif expérimental est présenté sous forme d'organigramme.

I.2. Mesures de croissance

La croissance de cyanobactérie a été enregistrée en mesurant l'absorbance de la suspension cellulaire à 618 nm après 96 heures d'expérience, en utilisant le spectrophotomètre UV-Visible. La concentration initiale de la culture a été fixée à 0,624.

I.3. Pigment photosynthétique

I.3.1 Estimation de la chlorophylle a et des caroténoïdes

Pour l'extraction de la chlorophylle a et des caroténoïdes, un volume de 5 ml de chaque échantillon test a été centrifugé et les culots ont été mis en suspension dans 0,5 ml de méthanol à 100 %. Après une incubation d'une nuit à 4 °C, la suspension a été maintenue à 3 ml en ajoutant 2,5 ml de méthanol à 100 %, centrifugée et référencée pour estimer la quantité de chlorophylle a et de caroténoïdes par les méthodes de Porra et al.(1989). Respectivement. À 665 nm pour la chlorophylle a et à 450 nm pour les caroténoïdes, l'absorbance du pigment extrait a été estimée à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible Double beam-1700. La quantité de chlorophylle a a été calculée à l'aide de la formule 12,5×A665 et exprimée en (µg chlorophylle a mg-1 poids sec). Pour la quantification des caroténoïdes, la formule était 5×A450 et la quantité de caroténoïdes a été exprimée en (µg caroténoïdes mg-1 poids sec).

I.4. Espèces réactives de l'oxygène (ERO)

I.4.1 Estimation d'hydrogène peroxyde (H2O2)

a) Estimation in vitro

L'accumulation in vitro de peroxyde d'hydrogène dans les cellules cyanobactériennes témoins et traitées a été estimée en suivant la méthode de Velikova et al. (2000).

Réactifs

Acide trichloracétique (TCA) : 00,1 % (p/v)
Tampon de phosphate de potassium (pH 7,0) : 10 mM
Iodure de potassium : 01 M

Procédure

Les cellules cyanobactériennes témoins et traitées ont été récoltées et centrifugées à 6000 g pendant 10 minutes, puis les culots obtenus ont été homogénéisés dans du TCA à 0,1 % (p/v). L'homogénat a été centrifugé à 8000 g pendant 15 minutes, puis le surnageant a été utilisé pour l'estimation de H_2O_2. Le mélange réactionnel était composé de Matériels et Méthodes 42 du surnageant, d'un tampon de phosphate de potassium 10 mM (pH 7,0) et d'iodure de potassium 1 M. L'absorbance de la solution a été lue à 390 nm par spectrophotométrie. La concentration de peroxyde d'hydrogène dans chaque échantillon a été calculée à partir d'une courbe standard préparée avec une solution de H_2O_2 graduée. La valeur de H_2O_2 a été exprimée en (nmol mg^{-1} poids sec).

I.5. Indices des dommages oxydatifs

I.5.1 Estimation MDA

Estimation de la peroxydation des lipides (formation d'équivalents MDA). La peroxydation des lipides dans les cellules cyanobactériennes traitées et non traitées a été déterminée en termes de teneur en équivalents de malondialdéhyde (teneur en équivalents de MDA), qui se forme par l'oxydation des acides gras insaturés et un produit connu sous le nom de métabolite réactif de l'acide 2-thiobarbiturique (TBA) a été produit. La concentration en MDA a été estimée selon la méthode de Heath et Packer (1968).

Réactifs

Tampon phosphate (pH 7,0) : 50 Mm
Acide 2-thiobarbiturique (ATB) : 00,5 % (w/v) dans 0,2 N HCl
Acide trichloracétique (TCA) : 20 % (p/v) dans une solution de TBA
Acide trichloracétique (TCA) : 05% (p/v) dans DDW

Procédure

Le volume requis de la suspension cellulaire des différents échantillons testés a été récolté par centrifugation et lavé deux fois avec un tampon phosphate 50 mM (pH 7,0). Les cellules cyanobactériennes ont été homogénéisées dans un mortier avec 5% (p/v) de TCA. L'homogénat obtenu a été centrifugé à 10 000 g pendant 10 minutes. Le mélange réactionnel contenait 0,5 ml du surnageant et 2 ml de TCA à 20 % contenant 0,5 % de TBA. Le mélange a été chauffé à 90 °C pendant 20 minutes, puis refroidi dans un bain de glace avant d'être centrifugé. L'absorbance du surnageant a été enregistrée à 532 nm et 600 nm. La valeur de l'absorption non spécifique de chaque échantillon à 600 nm a été soustraite de l'absorption

enregistrée à 532 nm. La teneur en équivalents MDA a été calculée en utilisant le coefficient d'extinction 155 mM^{-1} cm^{-1} et exprimée en (nmol mg^{-1} poids sec)

I.6. Système d'antioxydants (A/OX)

Le dosage des antioxydants enzymatiques dans les cellules cyanobactériennes traitées et non traitées a été effectué après 96 heures de traitement. Chaque échantillon a été soigneusement lavé avec de l'eau doublement distillée stérile et le statut des différents antioxydants dans ces échantillons a été déterminé.

I.6.1 Antioxydants enzymatiques

I.6.1.1 Estimation de l'activité de la catalase (CAT ; EC 1.11.1.6)

L'activité CAT a été déterminée en termes de diminution de l'absorbance due à la décomposition de H_2O_2 qui a été enregistrée à 240 nm et la quantité a été calculée en utilisant le coefficient d'extinction de 39,4 mM^{-1} cm^{-1} en suivant la méthode d'Aebi (1984).

Réactifs

Peroxyde d'hydrogène : 10 mM
Tampon de phosphate de potassium (pH 7,0) : 50 mM
Acide éthylènediamine tétra acétique (EDTA) : 01 mM

Procédure

La suspension cyanobactériennes de différents traitements a été prélevée et après centrifugation, les culots ont été lavés deux fois avec de l'eau doublement distillée et finalement broyés dans 50 mM réfrigérés de tampon phosphate (pH 7,0) contenant 1 mM d'EDTA ; centrifugés à 20 000 g (en utilisant CPR-30, Remi, Inde) pendant 10 min à 4 °C et le surnageant a été utilisé comme extrait enzymatique. Le mélange réactionnel (2 ml) contenait un tampon de phosphate de potassium 50 mM (pH 7,0) contenant 1 mM d'EDTA, 10 mM de H_2O_2 et l'extrait enzymatique (200 µl). Une unité d'activité enzymatique est définie comme étant 1 nmol H_2O_2 décomposé min-1.

I.6.1.2 Estimation de l'activité de la peroxydase (POD ; EC 1.11.1.7)

L'activité peroxydase a été déterminée selon la méthode de Gahagan et al. (1968).

Réactifs

Tampon phosphate (pH 7,0) : 100 mM
Pyrogallol : 100 mM
Peroxyde d'hydrogène (H_2O_2 ; préparé : 025 mM dans le tampon phosphate pH 7,0

Procédure

Les cellules cyanobactériennes de différents traitements ont été homogénéisées dans 2 ml de tampon phosphate 100 mM (pH 7,0) à 5 °C. L'homogénat a été centrifugé à 10 000 g pendant 30 minutes. Le surnageant clair a été considéré comme l'enzyme brute. Le mélange réactionnel a été maintenu jusqu'à 3 ml contenant 1 ml de H_2O_2 25 mM, 1 ml de pyrogallol 100 mM et 1 ml d'extrait d'enzyme. Après un mélange minutieux, l'activité a été contrôlée à 430 nm pendant 3 minutes à des intervalles de temps appropriés.

I .6.1.3Estimation de l'activité de la glutathion-S-transférase (GST ; EC 2.5.1.18)

L'activité de la GST a été évaluée selon la méthode de Habig et al. (1974) en utilisant le 1-Chloro-2, 4-dinitrobenzène (CDNB) comme substrat.

Réactifs

Tampon de phosphate de potassium (pH 6,3) : 100 mM
1- Chloro - 2, 4 - dinitrobenzène (CDNB) : 000,75 mM
Glutathion (GSH) : 030 mM

Procédure

La suspension cyanobactériennes traitée et non traitée a été récoltée par centrifugation, puis les culots obtenus ont été homogénéisés dans un tampon de phosphate de potassium 100 mM (pH 6,3) refroidi, centrifugés à 20 000 g pendant 10 minutes à 4 °C et le surnageant a été utilisé comme extrait enzymatique. Le dosage enzymatique a été effectué dans un mélange réactionnel de 3 ml contenant 100 mM de tampon phosphate de potassium (pH 6,3), 0,75 mM de CDNB, 30 mM de glutathion réduit (GSH) et 200 µl d'extrait enzymatique. L'activité a été réalisée à 25 °C. L'augmentation de l'absorbance due à la formation d'un conjugué entre le GSH et le CDNB a été contrôlée à 340 nm. Le mélange réactionnel sans extrait enzymatique a été utilisé comme blanc. L'activité enzymatique a été calculée en utilisant un coefficient d'extinction de 9,6 mM-1 cm-1. L'activité enzymatique a été exprimée en unités, chaque unité représentant 1 nmol de conjugués CDNB formés min-1.

I .6.1.4 Estimation de l'activité de l'ascorbate peroxydase (APX ; EC 1.11.1.11)

L'activité APX a été déterminée selon la méthode de Nakano et Asada (1981).

Réactifs

Tampon de phosphate de potassium (pH 7,0) : 50 mM
Acide éthylènediamine tétra acétique (EDTA) : 01 mM
Ascorbate réduit : 00,5 mM
Peroxyde d'hydrogène : 00.1 mM

Procédure

La suspension cyanobactériennes a été récoltée à partir de différents échantillons par centrifugation, lavée deux fois avec de l'eau distillée et les culots obtenus ont été homogénéisés dans un tampon phosphate 50 mM (pH 7,0) glacé contenant 1 mM d'EDTA et 0,5 mM d'ascorbate réduit, centrifugés à 20 000 g pendant 10 minutes à 4 °C et le surnageant obtenu a été utilisé comme extrait enzymatique. Mélange réactionnel maintenu jusqu'à 2 ml contenant 50 mM de tampon de phosphate de potassium (pH 7,0) avec 1 mM d'EDTA, 0,5 mM d'ascorbate réduit, 0,1 mM de H_2O_2 et l'extrait enzymatique (100 µl). L'absorbance de chaque échantillon a été enregistrée à 290 nm à l'aide du spectrophotomètre UV-Visible. La diminution de l'absorbance est due à l'oxydation de l'ascorbate et l'activité enzymatique a été calculée en utilisant le coefficient d'extinction 2,8 $mM^{-1}cm^{-1}$. Une unité d'activité enzymatique est définie comme étant 1 nmol d'ascorbate oxydé min^{-1}.

I.7. Composants biochimiques

I.7.1 Estimation des protéines

La teneur en protéines a été estimée par la méthode de Lowry et al. (1951). La quantité de protéines a été exprimée en protéines (µg ml^{-1} culture).

Réactifs

NaOH : 1,0 N

Réactif A : 0,2 % de Na_2CO_3 dans 0,1 N NaOH

Réactif B : 0,5 % $CuSO_4.5H_2O$ dans 1,0 % de tartrate de sodium et de potassium ($KNaC_4H_4O_6.4H_2O$)

Réactif C : 50 ml de réactif C ont été préparés en mélangeant 48 ml de réactif A avec 2 ml de réactif B. Réactif de Folin-Ciocalteu : 1:2 (v/v dans l'eau distillée)

Procédure

Un volume de 0,5 ml de culture a été mélangé à 0,5 ml de NaOH 1 N et maintenu dans un bain-marie bouillant pendant 10 minutes. Après refroidissement du mélange de culture, 2,5 ml de réactif C ont été ajoutés et le mélange réactionnel a été incubé pendant 15 minutes à température ambiante, puis 0,5 ml de réactif de Folin-Ciocalteu a été ajouté. L'intensité de la couleur bleue obtenue a été déterminée par l'absorbance à 650 nm après 15 minutes d'incubation. La quantité de protéines a été évaluée à l'aide d'une courbe standard établie avec de l'albumine de sérum bovin (BSA).

I.7.2 Estimation des carbohydrates

L'extraction et l'estimation de la teneur en EPS ont été réalisées selon la méthode de Sharma et al. (2008).

Réactifs

Isopropanol : 100 HCl : 2M Réactif d'anthrone :

Procédure

Pour l'extraction de carbohydrates cyanobactériennes, 100 ml de cellules cyanobactériennes traitées et non traitées ont été centrifugées à 3000 g et après séparation de la biomasse décantée, la culture acellulaire contenant carbohydrates a été prélevée. Elle a été concentrée dix fois par évaporation à 40 ˚C, lavée avec de l'isopropanol deux ou trois fois pour éliminer les contaminants et finalement séchée à 37 ˚C, puis analysée pour l'estimation du glucose à l'aide du réactif anthrone.

I.7.3 Estimation des lipides

L'extraction des lipides totaux a été réalisée selon Parrish (1999) avec le chloroforme : méthanol (2:1) comme solvant d'extraction. Des aliquotes (50mL) des cultures ont été centrifugées à 3000*g pendant 10 min, et le culot résultant a été extrait dans 6 ml de chloroforme : méthanol (2:1). La concentration en lipides totaux a été déterminée par gravimétrie et exprimée en en pictogrammes par cellule.

I.8. Analyse statistique

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées dans IBM SPSS 20 à l'aide d'une analyse de variance unidirectionnelle (ANOVA) avec un test post hoc HSD de la Tukey (pour comparaison multiple) avec $\alpha < 0,05$.

Partie III :
Résultats et Discussion

Résultats

I.1. Effet sur le comportement de croissance, les composants biochimiques et les pigments photosynthétiques

I.1.1 Comportement de croissance

L'impact de fongicide BLT (10-30 µg/l) sur la croissance de *Arthrospiraplatensis*a été analysé en enregistrant l'altération des paramètres liés à la croissance, c'est-à-dire le poids sec, l'absorbance à 618 nm et le taux d'inhibition (IR) après 96 h de traitements qui a été affiché dans les figures 1 et 2. Le poids sec des échantillons non traités (témoin) de *A platensis* s'est avéré être de 100 % de culture, ce qui a été considérablement diminué par BLT, montrant ainsi une diminution de et 23.47 %, 29.57 %, 39.90 %, 49.29 %, et 45.54 % chez *A platensis* exposée aux TM 10, TM 15, TM 20, TM 25, TM 30 respectivement par rapport au contrôles (Fig. 1).

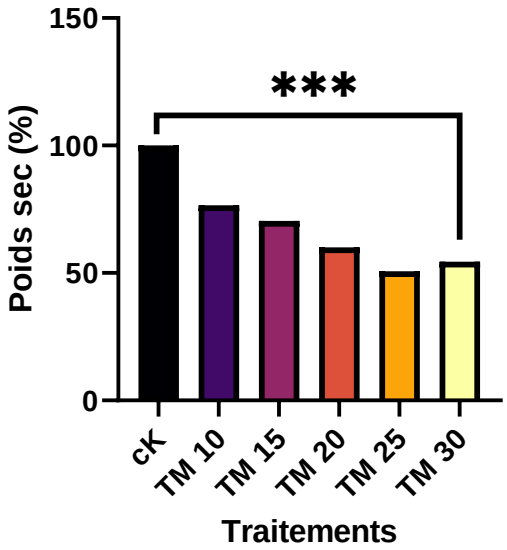


Figure 6: : Effet de pesticide BLT sur l'absorbance et le poids sec d'Arthrospira platensis après 96 h de traitement.

De plus, ces résultats ont été vérifiés en enregistrant l'absorbance et l'IR dans *Arthrospiraplatensis*dans des conditions expérimentales similaires, ce qui a été considérablement diminué par BLT, montrant ainsi une diminution de et 23.48 %, 29.58 %, 39.91 %, 49.3 %, et 45.54 % chez *A platensis* exposée aux TM 10, TM 15, TM 20, TM 25, TM 30, respectivement par rapport au contrôles (Fig. 2).

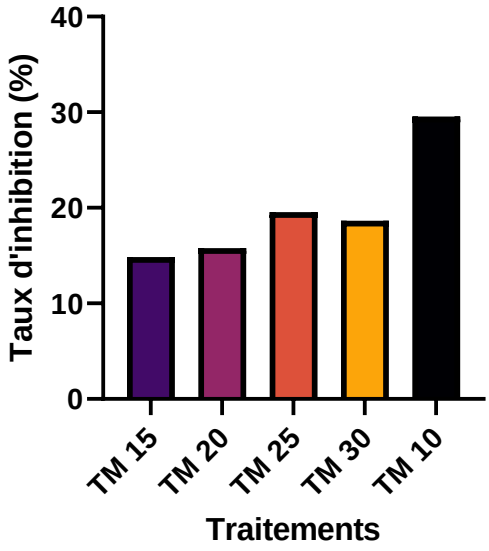


Figure 7: Effet de pesticide BLT sur le taux d'inhibition *d'Arthrospiraplatensis* après 96 h de traitement.

I.1.2 Pigments photosynthétiques

La figure 10décrit les teneurs en chlorophylle à (Chl*a*) et en (Chl*b*) dans la cyanobactérie testée. Les résultats ont révélé que le BLT provoquait une diminution significative du contenu de Chl*a* de 67.71 %, 29.68 %, 66.72 %, 83.04 % et 84.38 % chez *A. Platensis*exposée aux TM 10, TM 15, TM 20, TM 25, TM 30 respectivement par rapport au contrôles (Fig. 10).

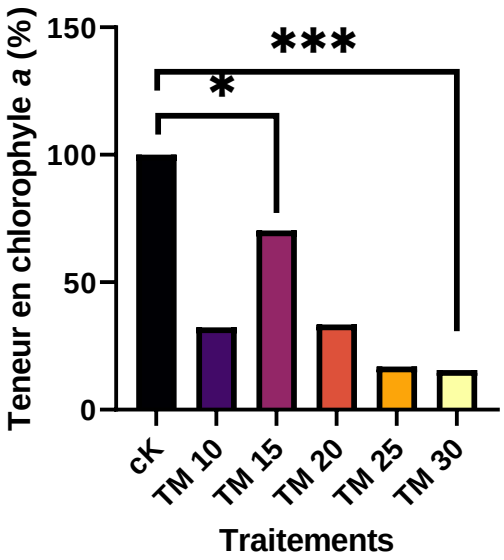


Figure 8: Effet de pesticide BLT sur la teneur en chlorophylle a *d'Arthrospiraplatensis* après 96 h de traitement.

Les résultats ont révélé que le BLT provoquait une diminution significative du contenu de Chl b de 74.41 %, 31.63 %, 67.24 %, 93.70 % et 94.20 % chez *A platensis* exposée aux TM 10, TM 15, TM 20, TM 25 et TM 30, respectivement par rapport au contrôles (Fig. 4).

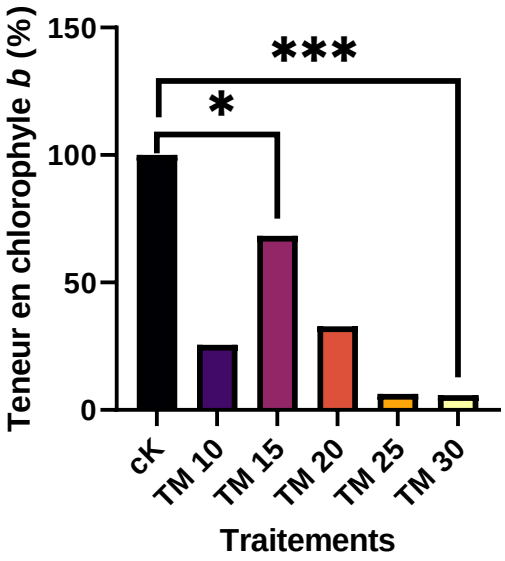


Figure 9 : Effet de pesticide BLT sur la teneur en chlorophylle b *d'Arthrospiraplatensis* après 96 h de traitement.

I.2 Composants biochimiques

I.2.1 Teneur en protéines

Les résultats concernant l'effet du BLT sur la teneur en protéines *d'A. Platensis*ont été illustrés à la figure 5. Le BLT a significativement réduit la teneur en protéines de 27.51%, 16.45 %, 53.45 %, 63.08 % et 37.95 % chez *A platensis* exposée aux TM 10, TM 15, TM 20, TM 25, TM 30, respectivement par rapport au contrôles (Fig. 5).

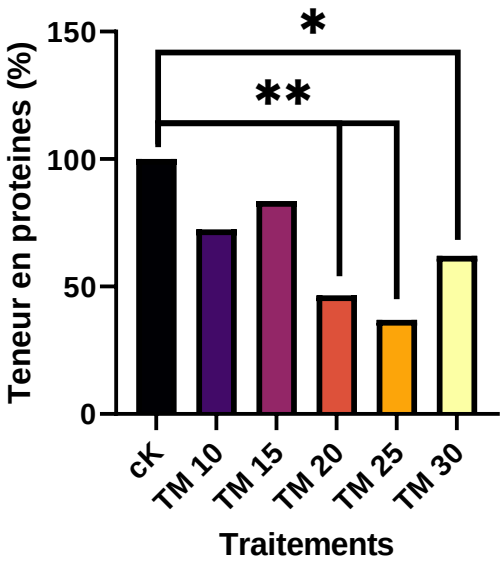


Figure 10: Effet de pesticide BLT sur la teneur en protéine *d'Arthrospiraplatensis* après 96 h de traitement.

I.2.2 Teneur en glucides

Les résultats concernant la teneur en glucides dans la cyanobactérie testée ont été représentés à la figure 6. Les résultats ont révélé que le BLTdiminuait considérablement la teneur en glucides de 17.37 %, 45.16 %, 42.49 %, 48.76 % et 48.02 % chez *A platensis* exposée aux TM 10, TM 15, TM 20, TM 25, TM 30 respectivement par rapport au contrôles (Fig. 6).

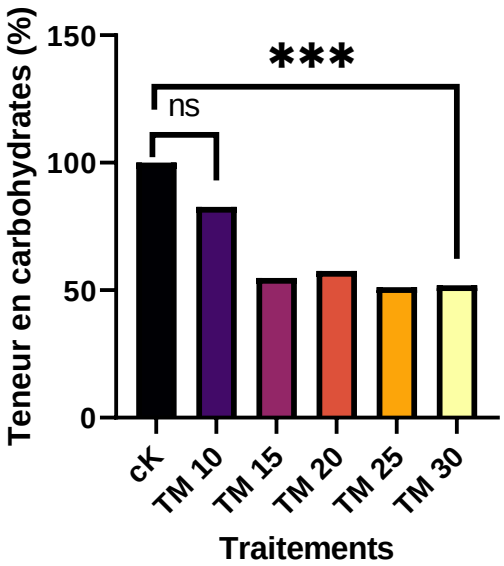


Figure 11: Effet de pesticide BLT sur la teneur en carbohydrates *d'Arthrospiraplatensis* après 96 h de traitement.

I.2.3 Teneur en lipides

L'impact de BLT sur la Teneur en lipides dans la cyanobactérie de test a été représenté sur la figure 7. Dans la cyanobactérie testé *A. Platensis* l'accumulation des lipides diminué de manière significative de 53.50 %, chez *A platensis* exposée aux TM 10. Mais pour l'autre traitement qui sont augment de manière non significative de 45.10 %, 59.09 %, 54.54% et 36.01 % chez *A platensis* exposée aux TM 15, TM 20, TM 25, TM 30 respectivement par rapport au contrôles (Fig. 7).

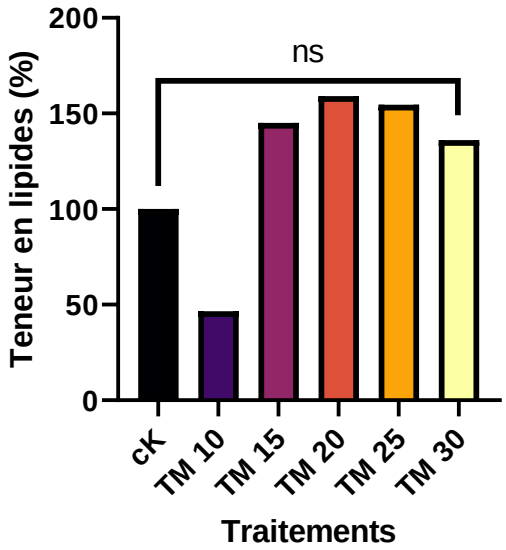


Figure 12: Effet de pesticide BLT sur la teneur en lipide d'*Arthrospiraplatensis*après 96 h de traitement.

I.3. Effet sur les biomarqueurs du stress oxydatif : espèces réactives de l'oxygène et dommages oxydatifs

I.3.1 Peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) : analyse in vitro

La teneur en H_2O_2in vitro a été analysée dans les deux organismes d'essai et les résultats ont été présentés à la figure 8. Une augmentation successive de la teneur en H_2O_2, c'est-à-dire 24.48 %, 33.19 %, 53.94 %, 54.54 % et 36.01 % chez *A platensis* exposée aux TM 15, TM 20, TM 25, TM 30 respectivement par rapport au contrôles a été remarqué après l'application de BLT (Fig. 8).

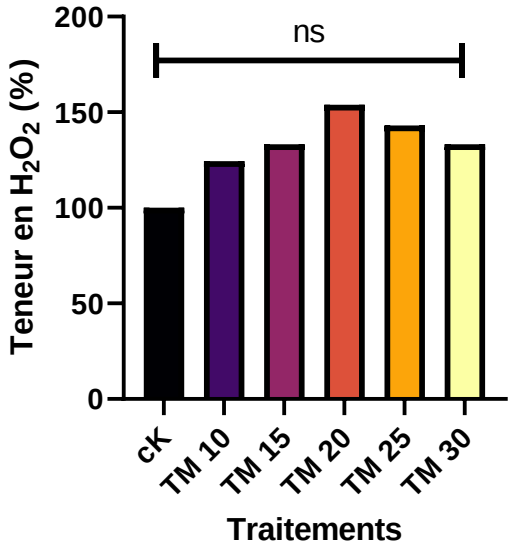


Figure 13 : Effet de pesticide BLT sur la teneur en H_2O_2 d'*Arthrospiraplatensis*après 96 h de traitement.

I.4. Indices de dommages oxydatifs

I.4.1 Peroxydation lipidique

L'analyse in vitro pour l'évaluation de la peroxydation lipidique en tant que teneur en équivalents MDA (malondialdéhyde) dans la cyanobactérie testée exposées au stress du BLT est illustrée à la figure 9. Les résultats suggèrent que le BLT a accéléré la formation d'équivalents MDA de 42.74 %, 40.28 %, 39.46 % 42.12 % et 88.54 % chez *A. Platensis*exposées aux TM 15, TM 20, TM 25, TM 30 respectivement par rapport au contrôles (Fig. 9).

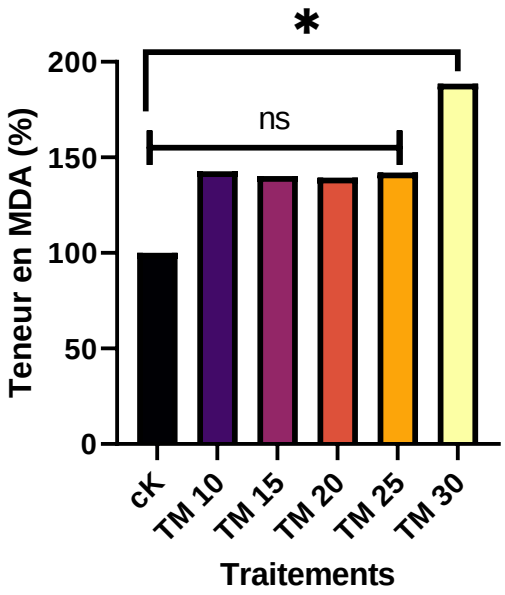


Figure 14: Effet de pesticide BLT sur la teneur en MDA *d'Arthrospiraplatensis* après 96 h de traitement.

I.5. Effet sur le système de défense antioxydant

I.5.1 Antioxydants enzymatiques (analyse biochimique)

I.5.1.1 Activité glutathion-S-transférase (GST)

Les résultats concernant l'analyse biochimique sont montrés sur la figure 10 qui indiquent que l'activité GST a été sensiblement augmentée de 60.73 %, 28.49 %, 50.51 %, 50.51 % et 62.69 % chez *A. platensis* exposée aux TM 15, TM 20, TM 25, TM 30 respectivement par rapport au contrôle a été remarqué après l'application de BLT (Fig. 10).

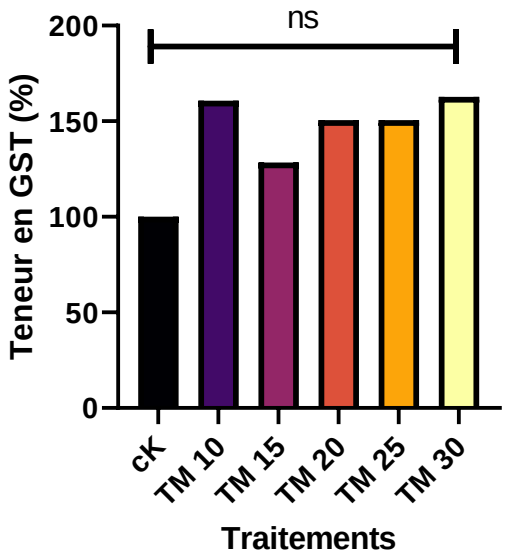


Figure 15: Effet de pesticide BLT sur la teneur en GST *d'Arthrospiraplatensis* après 96 h de traitement.

I.5.1.2 Activité peroxydase (POD)

Les résultats concernant l'activité POD dans les deux cyanobactéries testées ont été épinglés sur la figure 11. L'analyse biochimique indique que l'activité POD a été diminuée de 82.57 %, 74.73 %, 76.70 %, 15.67 % et 54.85 % chez *A platensis* exposée aux TM 15, TM 20, TM 25, TM 30 respectivement par rapport au contrôle a été remarqué après l'application de BLT (Fig. 11).

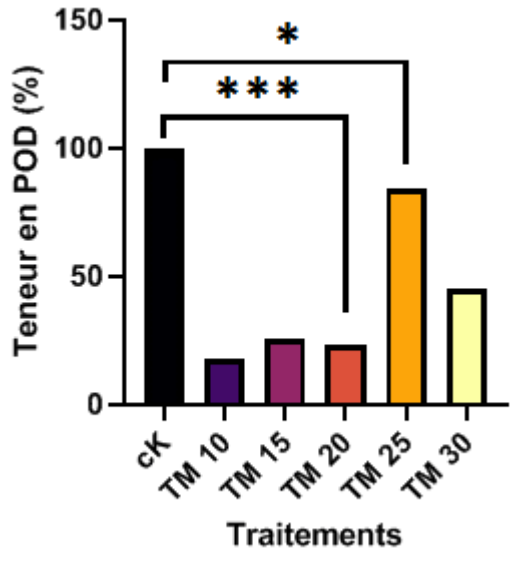


Figure 16: Effet de pesticide BLT sur la teneur en GST d'*Arthrospiraplatensis* après 96 h de traitement.

I.5.1.3 Activité catalase (CAT)

L'analyse biochimique révèle que l'activité CAT a été diminuée chez *Arthrospiraplatensis*19.21 %, 16.95 %, 44.06 %, 37.85 % et 18.64 % sous stress BLT chez *A platensis* exposée aux TM 15, TM 20, TM 25, TM 30 respectivement par rapport au contrôle a été remarqué après l'application de BLT (Fig. 12).

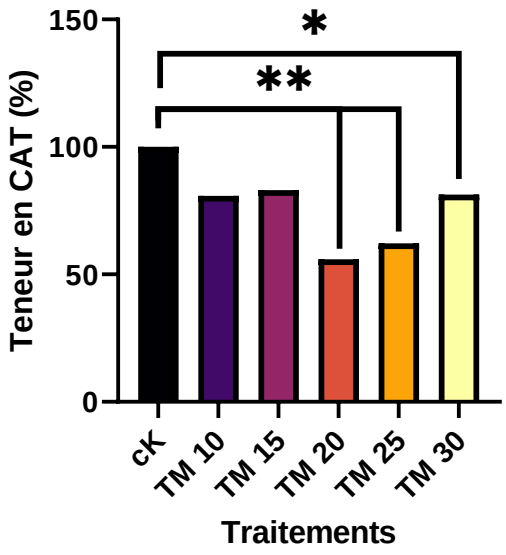


Figure 17: Effet de pesticide BLT sur la teneur en CAT d'*Arthrospiraplatensis*après 96 h de traitement.

I.5.1.4 Activité ascorbate peroxydase (APX)

Les données relatives à l'activité enzymatique APX sont présentées dans le figure 12 Les résultats suggèrent que sous l'exposition au BLT, l'activité APX a diminué de 52.53 %, 58.69 %, 53.62 %, 13.40 % et 34.78 % chez *A platensis* exposée aux TM 15, TM 20, TM 25, TM 30 respectivement par rapport au contrôle a été remarqué après l'application de BLT (Fig. 12).

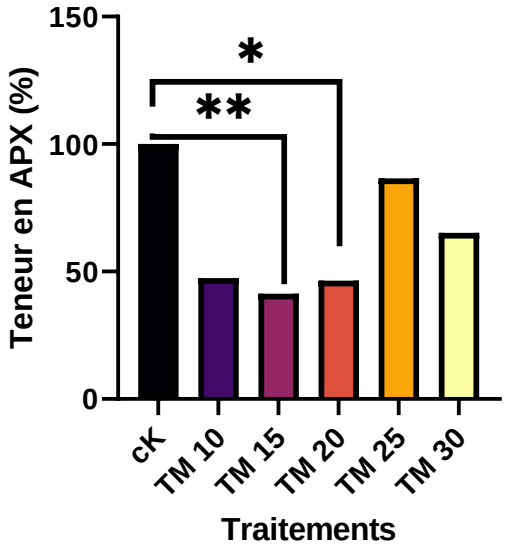


Figure 18: Effet de pesticide BLT sur la teneur en APX d'*Arthrospiraplatensis*après 96 h de traitement.

Discussion

Discussion

Il y a plusieurs implications pour l'environnement aquatique, car des niveaux plus élevée des molécules toxiques peuvent modifies la concentration de substrat organique produits par les cyanobactéries. Plus encore, de faible concentration de substrats organiques peuvent avoir des effets sur la chaine alimentaire aquatique, en fonction de la réponse de la souche, en raison des changements potentiels dans la quantité et la des biomolécules telles que (les lipides, les protéines, et les vitamines produits...), par cyanobactéries (Yisa et al., 2021).

Dans la présente étude, la teneur en poids sec est diminuée significativement avec l'augmentation de la concentration de la BLT. Le taux de croissance spécifique des cultures traitées au BLT a également montré un effet toxique. D'autres molécule comme l'antibiotique (MOX, la protopine, CBZ) sont également signalés comme inhibiteurs de croissance chez les cyanobactéries, par ce que l'MOX qui contient un effet sur PSII, ont prouvé que l'ajout de MOX empêchait le transport d'électrons au-delà de Q chez *C. sorakiniana*(Z. Li et al., 2023). et pour la protopinequi intégrité des cellules de *M. aeruginosa* a été détruite, les membranes cellulaires ont été endommagées et la croissance cellulaire a été fortement inhibée, ce qui indique que la protopine a exercé un effet inhibiteur significatif sur *M. aeruginosa TY001* (Wang et al., 2021). et pour CBZ qui donne un effet d' inhibition sur le *C. vulgaris* immobilisé (Liang et al., 2022).

Ce phénomène est causé par les mécanismes selon lesquels les microalgues utilisent des nutriments pour produire des protéines, des lipides, des polysaccharides et des acides nucléiques afin de développer la biomasse. Ils ont besoin de convertir l'énergie lumineuse en biomasse par la photosynthèse, la respiration et le cycle de Calvin et de la stocker dans des cellules pour la croissance (Liang et al., 2022).

Zhou et al (2021) sont montrés qu'OXY et SMZ affectent la croissance de *M. aeruginosa* et *C. microsphaera* dans une relation dose-réponse caractérisée par une stimulation à faible dose et une inhibition à forte dose. Les caractéristiques physiologiques des deux espèces ont été significativement affectées par des concentrations élevées d'OXY et de SMZ. Avec de faibles concentrations d'OXY et de SMZ, tous les indicateurs physiologiques déterminés dans cette étude, y compris l'activité photosynthétique, l'activité SOD, la peroxydation lipidique et la teneur en protéines, étaient relativement stables. Cependant, l'exposition à des concentrations élevées d'OXY et de SMZ a significativement diminué l'activité photosynthétique et augmenté l'activité SOD, la peroxydation lipidique et la teneur en protéines. La microscopie électronique à balayage et la mesure de la teneur en MDA

et en protéines indiquent que l'OXY peut détruire la structure des membranes cellulaires (Zhou et al., 2021).

D'autre étude qui démontre que le STM qui inhiber la croissance des microalgues par ce qui peut être causée sur accumulation d'espèces réactives de l'oxygène (ERO), la croissance inhibée des microalgues par ces polluants toxiques peut être causée par la suraccumulation d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) car ces radicaux libres sont hautement oxydants pour endommager les composants et les structures cellulaires.

Les contaminants organiques peuvent perturber les processus métaboliques cellulaires clés tels que le métabolisme énergétique, les activités photosynthétiques et la synthèse des métabolites secondaires, ce qui a finalement entraîné une diminution de la production de biomasse (Qi et al., 2022).

Les pigments sont extrêmement présents dans les organismes photosynthétiques et jouent un rôle essentiel dans la photosynthèse, la conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique et le soutien de l'activité physiologique des cellules. les pigments, tels que la chlorophylle *a*, la chlorophylle *b* , servent également de protecteurs en éliminant les ERO qui perturbent la croissance normale des cellules (Y. Zhang et al., 2023).

Le chlorophylle est une des pigment photosynthétique important chez les algues qui sont impliqué dans un série de réaction photosynthétique cruciales telles que la récolte de lumière , l'absorption d'énergie et la conversion d'énergie (Wan et al., 2021). Dans cette étude, le BLT a montré une réduction significative des pigments photosynthétiques cyanobactériens (chlorophylle *a et b*) avec une concentration croissante de BLT.

Dans d'autre étude par Mao et al. (2021) qui observée l'augmentation de la Chl*b* chez microalgues *Chlorellapyrenoidosa*, servant d'antioxydants, augmenterait la capacité antioxydante des cellules et contribuent ainsi à la diminution de dommages oxydatifs. Donc, l'augmentation d'activités photosynthétiques, qui étaient causé par le niveau d'expression élevé de psbA et une synthèse améliorée de Chl-*b*, augmenterait les réserves d'énergie cellulaire (Mao et al., 2021).

D'autres recherches parDong et al.(2020) démontré que le sulfamethoxazole a montré un effet significatif sur le contenu de chlorophylle *a et b* chez *Chlorella vulgaris* , la diminution de la concentration de chlorophylle *a et b* signifiait la voie de la photosynthèse était bloquée et que énergie disponible pour a métabolisme diminuait (Dong et al., 2020). D'autre molécule comme (la protopine) affectent également les pigments photosynthétiques

des cyanobactéries. pour la protopine diminue la capacité de photo-oxydation de *M. aeruginosa* TY001 (Wang, 2021, Song et al., 2023).

Les protéines sont des composants importants des biomolécules et des catalyseurs dans les réactions biochimiques, et elles sont utilisées comme indicateur des changements dans le métabolisme des microalgues(Zhou et al., 2021).Dans cette étude la teneur en protéines a montré un décroissant avec l'augmentation de la concentration de BLT, le stress de BLT pourrait être due l'impact direct sur la biosynthèse des protéines dans la cellule de cyanobactéries.

des études par Yisa et al (2021) et (Jiang et al., 2022) démontrés que l'augmentation de la teneur en protéines de cyanobactéries telles que *Spirulina platensis-S5* et *Anabaenasp*. à une teneur élevée en proline en cas de stress xénobiotique (Yisa et al., 2021,Jiang et al., 2022). d'autre étude par (Zhou et al., 2021) suggère que les membranes cellulaires ont été endommagées dans cette étude en raison de l'inhibition de la synthèse des protéines bactériennes par l'OXY en se combinant avec la sous-unité ribosomale 30S pour empêcher l'association entre l'aminoacyl-ARNt et le ribosome bactérien (Zhou et al., 2021). un étude par Sudarshan et al, (2022) et Moorthy et al .,(2022) démontrer qu'une augmentation significative du pourcentage d'inhibition des protéines a été observée avec une augmentation des concentrations de colorants (Sudarshan et al., 2022); Moorthy et al., 2022).De plus, Li et al , (2019) démontre que la formation et la concentration d'azote a veine un effets important sur teneur en protéines des microalgues (X. Li et al., 2019).

Les cyanobactéries peuvent synthétiser et accumuler des lipides supplémentaires en réponse adaptative à des facteurs de stress exogènes (Shahid et al., 2021).Dans notre étude la teneur en lipide révélé une augmentation non significative avec l'augmentation de concentration de BLT.Sharma et al (2023) démontré que la teneur en lipides de *C. sorokiniana* a été augmentée en présence de DFS, par rapport au témoin. L'effet positif de la DSF sur l'accumulation de lipides pourrait être dû aux changements dans les activités enzymatiques connexes pour améliorer la production de lipides, Une légère réduction des lipides à des doses plus élevées (100 mgL-1) de DFS pourrait être attribuée à une dégradation partielle de l'intégrité des cellules de microalgues aux niveaux toxiques des produits pharmaceutiques, bloquant ainsi la biosynthèse des lipides (Sharma et al., 2023).

D'autre étude par Fang et al. (2023) qui montre que l'augmentation le teneur en lipide dans le cas présence les antibiotiques cible, par ce que la fructose-bisphosphate aldolase (FBA) catalyse la conversion du fructose 1-6-diphosphate (FBP) en glycéraldéhyde 3-

phosphate (GAP) lors de la glycolyse et la conversion du GAP en FBP dans le cycle de Calvin. La régulation à la hausse du FBA s'est avérée réguler le flux de carbone vers l'inhibition de la synthèse de l'amidon et l'activation de la glycolyse, ce qui a par conséquent augmenté la teneur en lipides de *Chlamydomonas reinhardtti* en favorisant la synthèse des acides gras et la conversion de l'amidon en lipides. La régulation à la baisse de la FBA facilite la synthèse des lipides en favorisant l'accumulation de GAP dans le cycle de Calvin, qui est un précurseur important de la synthèse des triglycérides dans *Chlorellapyrenoidosa*. Par conséquent, la régulation à la hausse et à la baisse de la FBA pourrait entraîner une augmentation de la teneur en lipides des microalgues (Fang et al., 2023).

Les glucides peuvent être trouvés dans de nombreuses sources naturelles, ce sont des biopolymères naturels abondants, de haut poids moléculaire, avec structures complexes et plusieurs propriétés physico-chimique. De nombreuses espèces de microalgues ont suscrite le glucide (Caetano et al., 2022). Les résultats de la présente étude ont montré une diminution de la teneur en glucides dans la concentration de BLT par rapport au contrôle. D'autre étude par Acide et al, (2021) ont montré que l'application d'imidaclopride et de phosalone a montré une augmentation de la teneur en glucide solubles dans les plantules de pistache, aussi, Homayoonzadeh al. en rapporté une augmentation du niveau des glucides solubles totaux dans les plants concombre en réponse à l'imidaclopride et au dichlovos à la dose recommandée (Gomes et al., 2022, Acids et al., 2021).

La superflus des ERO entraîneraient des dommages de peroxydation lipidique dans la membrane cellulaire avec les sous-produits de la génération de MDA (Song et al., 2023). La formation de MDA est l'un des derniers produits de décomposition des polymères lipidiques et des hydroperoxydes primaires. L'accumulation de MDA peut indiquer des dommages à la membrane lipidique et aux cellules (Gana et al., 2023). Dans la présence étude démontré qu'une augmentation du continue de MDA avec l'augmentation Dans la présence de la concentration de BLT induisait un stress oxydatif. L'étude de Han et al (2021) démontré que la concentration de MDA a changé de manière significative dans différents macrophytes submergés. La tendance au changement de la teneur en MDA de *M. aeruginosa* était à peu près la même que celle des chercheurs précédents. Le changement rapide de la teneur en MDA était principalement dû à l'invasion d'acides polyinsaturés dans la membrane cellulaire par des radicaux libres, ce qui a conduit au fort stress oxydatif de *M. aeruginosa* et à l'augmentation rapide de la teneur en MDA.

(J. Li et al., 2022) démontre que le stress antioxydant causé par l'exposition à l'érythromycine induisait une augmentation de la teneur en MDA, la peroxydation lipidique diminuait la teneur en chlorophylle en raison de l'inhibition de la synthèse de la chlorophylle effectuée sur la membrane thylakoïde, et ainsi la croissance des cellules de microalgues dépendantes de la photosynthèse était inhibée (J. Li et al., 2022).

Les enzymes antioxydants et d'autres antioxydants jouent un rôle important en tant que système de défense à l'intérieur des cellules d'algues contre les dommages oxydatifs résultant des radicaux libres (Ismaiel et al., 2014). La peroxydase (POD) peut piéger H_2O_2 et est impliquée dans la biosynthèse des composants de la paroi cellulaire et la lignification, ce enzyme antioxydant jouent un rôle essentiel dans la protection des cellules de microalgues contre les forts stress oxydatifs (Qi et al., 2022). Dans la présence étude démontré qu'une diminution du continue de POD avec l'augmentation de la concentration de BLT.

CAT peut catalyser le peroxyde d'hydrogène pour générer de l'oxygène et de l'eau (Cao et al., 2023). CAT c'est une des enzymes clés du système de défense biologique, qui peut protéger les cellules de la toxicité de H_2O_2 (Lyu et al., 2022). Dans cette étude la teneur en CAT a montré un décroissant avec l'augmentation de la concentration de BLT.D'autre étude par Li et al. (2023) démontré que les effets de la concentration d'exposition aux antibiotiques et de la pression de prédation sur les activités anti oxydases de *P. jenningsi*. Les résultats de l'activité du CAT ont montré que la concentration d'exposition des antibiotiques étudiés (y compris NFZ et ERS) ou la pression de prédation amélioraient l'activité du CAT de *P. jenningsi*(J. Li et al., 2023).

Une étude par wu et al. (2022) a démontré que le stress de la carbamazépine a augmenté les niveaux d'ERO dans la cellule et l'activé le système enzymatique antioxydant. Cependant, une concentration trop élevée de carbamazépine inhiberait l'activité de CAT en raison de dommage aux organite cellulaire causé par une accumulation excessive de ERO (Wu et al., 2022).

Dans d'autre étude par Wang. (2021) démontré que 1 jour après le traitement à la protopine des algues, les activités des enzymes antioxydants (POD et CAT) ont été significativement augmentées, indiquant que la protopine provoquait un stress oxydatif chez *M. aeruginosa* TY001, déclenchant une réaction défensive dans les cellules d'algues. Il s'agit d'une stratégie adaptative des algues pour résister aux mauvaises conditions environnementales. Cependant, après 3 et 5 jours de traitement par protopine, les niveaux des trois enzymes antioxydants ont diminué de manière significative, indiquant que l'exposition à

la protopine avait endommagé le système enzymatique antioxydant, perturbant l'équilibre cellulaire et affectant la croissance cellulaire avec l'augmentation de la durée du traitement (Wang et al., 2021).

L'APX utilise l'acrobate comme donner d'électron spécifique pour réduire le H_2O_2 en eau avec la génération concomitante de monodéhydroascorbateun oxydant univalent de l'ascorbate(Ahmed et al., 2023). Dans cette étude la teneur en APX a montré un décroissant avec l'augmentation de la concentration de fongicide. Dans d'autre étude par Ma et al. (2022) indiquent clairement que l'AMX induit la production de ERO et que l'APX est important pour éviter l'accumulation de H_2O_2 et les dommages oxydatifs associés (y compris les effets néfastes sur la photosynthèse rapport FV/FM inférieur) chez les plantes qui y sont exposées (Ma et al., 2022).

Les glutathion-S-transférases (GST) sont souvent associés à des mécanismes de défense antioxydants et à la biotransformation (Esterhuizen et al., 2022). et le rôle important de GST fonctionne dans la détoxification de xénobiotique (Yisa et al., 2021). Dans la présente recherche la teneur en GST augmente de manier non significative pour tous les concentrations de BLT. contrairement à l'étude de (Yisa et al., 2021) démontré que les activités plus élevées de GST trouvées dans les cyanobactéries *M. aeruginosa* exposées au CPX aient été plus élevées que celles des groupe témoins. L'activité de GST n'a pas suivi une relation linéaire avec l'augmentation de la concentration du médicament dans *M. aeruginosa.*Cependant , la GST était impliquée dans la détoxification des antibiotique pendant la période d'exposition (Yisa et al., 2021). De même, la GST peut catalyser la conjugaison GSH, qui détoxifie directement les xénobiotiques avec des groupes électrophiles posant que l'activité du GSH a diminué chez*Synechococcussp*(Y. Zhang et al., 2023).

Conclusion

Conclusion

On peut conclure que, la croissance, la teneur en pigments photosynthétiques, la réponse antioxydant et la composition biochimique de *Spirulinaplatensis* sont influencées par le fongicide BLT. La présence de BLT dans l'environnement aquatique constitue une grave menace écologique car le pesticide peut entraîner la modification de la structure et de la dynamique des communautés phytoplanctoniques—compte tenu des changements dans la croissance des souches étudiées. Aussi, *S. platensis*. Sont probablement plus tolérants à la présence de pesticides à large spectre comme le BLT dans l'environnement aquatique.Les travaux futurs devraient viser à affiner notre compréhension des effets de pesticide sur *A. platensis* dans des conditions optimisées et à élargir la recherche pour explorer les mécanismes de bioremédiation et de tolérance au stress. Ces efforts contribueront aux progrès dans les domaines des sciences de l'environnement et de la biologie des cyanobactéries, ouvrant la voie à des approches plus efficaces et durables de la gestion de l'environnement.

Référence

Acids, A., Elements, M., Carbohydrates, S., Homayoonzadeh, M., Haghighi, S. R., Hosseininaveh, V., & Talebi, K. (2021). *Response of Cucumis sativus to Spirotetramat Application Leads to Changes in Salicylic Acid , Antioxidative Enzymes ,*. 1–7.

- Ahmed, S., Iqbal, M., Ahmad, Z., Iqbal, M. A., Artyszak, A., Sabagh, A. E. L., Alharby, H. F., & Hossain, A. (2023). Foliar application of silicon-based nanoparticles improve the adaptability of maize (Zea mays L.) in cadmium contaminated soils. *Environmental Science and Pollution Research*, 41002–41013. https://doi.org/10.1007/s11356-023-25189-0
- Aislabie, J., & Lloyd-Jones, G. (1995). A review of bacterial degradation of pesticides. *Australian Journal of Soil Research*, *33*(6), 925–942. https://doi.org/10.1071/SR9950925
- AKPO, S. K., COULIBALY, L. S., COULIBALY, L., & SAVANE, and I. (2016). Evolution Temporelle de l ' utilisation des pesticides en agriculture tropicale dans le bassin versant de la Marahoué , Côte d ' Ivoire [Temporal Evolution of the pesticide use in tropical agriculture in the Marahoué watershed , Côte d ' Ivoire]. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, *14*(1), 121–131.
- Algerienne, R., Et, D., Abdelhamid, U., Badis, I. B. N., Des, F., La, S. D. E., Et, N., Vie, D. E. L. A., Biologie, D. D. E., Doctorat, T. D. E., & Biologiques, E. N. S. (2020). *Propriétés biologiques de l ' astaxanthine produite par Haematococcus pluvialis sous conditions de stress*. 2019–2020.
- Amrani, A. (2016). *Impacts écologiques et sanitaires de la prolifération massive des cyanobactéries toxiques sur la faune piscicole et la production aquacole dans le lac Oube ï ra : Bioaccumulation des cyanotoxines dans les poissons et risques sanitaires associés*. 2015–2016.
- Arévalo-Cortés, A., Damania, A., Granada, Y., Zuluaga, S., Mejia, R., & Triana-Chavez, O. (2022). Association of Midgut Bacteria and Their Metabolic Pathways with Zika Infection and Insecticide Resistance in Colombian Aedes aegypti Populations. *Viruses*, *14*(10), 2197. https://doi.org/10.3390/v14102197
- Asmaâ, A. (2017). *Effet des pesticides sur la diversité bactérienne des champs agricoles et la capacité des bactéries à les dégrader Résumé*.
- Baldissera, M. D., Souza, C. F., Zanella, R., Prestes, O. D., Meinhart, A. D., Da Silva, A. S., & Baldisserotto, B. (2021). Behavioral impairment and neurotoxic responses of

silver catfish Rhamdia quelen exposed to organophosphate pesticide trichlorfon: Protective effects of diet containing rutin. *Comparative Biochemistry and Physiology Part - C: Toxicology and Pharmacology*, *239*(June 2020), 108871. https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2020.108871

- Barón-Sola, Á., Toledo-Basantes, M., Arana-Gandía, M., Martínez, F., Ortega-Villasante, C., Dučić, T., Yousef, I., & Hernández, L. E. (2021). Synchrotron Radiation-Fourier Transformed Infrared microspectroscopy (μSR-FTIR) reveals multiple metabolism alterations in microalgae induced by cadmium and mercury. *Journal of Hazardous Materials*, *419*. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126502
- Beaulieu, M., Marcil, G., Huot, Y., Lacey, J., Leconte, R., & Cabana, H. (2014). Pesticides et phytoplancton au Québec : Conditions propices aux efflorescences cyanobactériennes ? Revue de littérature Présentée au Fonds de recherche du Québec — Nature et technologies. *Université de Sherbrooke, Sherbrooke*, 132.
- Ben Salem, F. (2015). *Thèse-Impacts écologiques de la présence de quelques substances prioritaires (pesticides agricoles, hydrocarbures aromatiques polycycliques, polychlorobiphényles,organo-métaux) dans un écosystème littoral anthropisé, le complexe lac Ichkeul- lagune de Bizerte*. Pau.
- Bensaci; Koricgi. (2020). *Les problèmes de contamination et les contraintes morphologiques de la spiruline (Arthrospira platensis) . D*.
- Boutray, M. De, Pinel-alloul, B., Lemaire, B., Dorner, S., & Vinçon-leite, B. (2018). *Les cyanobactéries et leurs toxines dans les sources d ' eau potable To cite this version : HAL Id : tel-01743744 Université Paris-Est Les cyanobactéries et leurs toxines dans les sources d ' eau potable*. 513.
- Caetano, P. A., do Nascimento, T. C., Fernandes, A. S., Nass, P. P., Vieira, K. R., Maróstica Junior, M. R., Jacob-Lopes, E., & Zepka, L. Q. (2022). Microalgae-based polysaccharides: Insights on production, applications, analysis, and future challenges. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *45*(September). https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102491
- Cao, Z., Li, P., Ru, J., Cao, X., Wang, X., Liu, B., & Li, Z. H. (2023). Physiological responses of marine Chlorella sp. exposed to environmental levels of triphenyltin. *Environmental Science and Pollution Research*, *30*(10), 26387–26396. https://doi.org/10.1007/s11356-022-23992-9
- Cerveau, D. (2016). *Delphine CERVEAU*.

- Chalifour, A. (2014). *Effets combinés de la température et des herbicides sur les processus physiologiques du phytoplancton*. 246.
- Demailly, F. (2020). *Impacts de contaminants sur les acides gras des diatomées.* Bordeaux.
- Demay, J., Demay, J., & Demay, J. (2021). *Diversité et activités de métabolites de cyanobactéries des boues thermales de Balaruc-les-Bains To cite this version : HAL Id : tel-03412002 MUSÉUM NATIONAL D ' HISTOIRE NATURELLE Diversité et activités de métabolites de cyanobactéries des boues thermale*.
- Demoulin, C. F., Lara, Y. J., Cornet, L., François, C., Baurain, D., Wilmotte, A., & Javaux, E. J. (2019). Cyanobacteria evolution: Insight from the fossil record. *Free Radical Biology and Medicine*, *140*(March), 206–223. https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2019.05.007
- Di Cesare, S. (2018). *Anticipating the effects of pesticides on farmworkers health based on real practices-The case of banana plantation*. https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01869841
- Dong, X., Sun, S., Jia, R., Xu, L., Hou, W., Lu, N., Wang, M., Zhao, Q., & Hou, L. (2020). Effects of Sulfamethoxazole Exposure on the Growth, Antioxidant System of Chlorella vulgaris and Microcystis aeruginosa. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, *105*(3), 358–365. https://doi.org/10.1007/s00128-020-02952-4
- Dormoy-Boulanger, J. (2021). *L'impact des changements climatiques sur la dynamique des cyanobactéries dans la Rivières aux Brochets, Québec*. *August*. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28616.80645
- Dutheil, J., & Synechocystis, D. (2014). *Reprogrammation du métabolisme cyanobactérien de Synechocystis sp . PCC6803 pour une meilleure photoproduction d ' hydrogène Jérémy Dutheil To cite this version : HAL Id : tel-01061465 Reprogrammation du métabolisme cyanobactérien de Synechocystis sp . PC.*
- Egbe, C. C., Oyetibo, G. O., & Ilori, M. O. (2021). Ecological impact of organochlorine pesticides consortium on autochthonous microbial community in agricultural soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *207*(August 2020), 111319. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111319
- Esterhuizen, M., Lutsko, M., Kim, Y., Yoon, H., Park, C.-B., Kim, Y. J., & Pflugmacher, S. (2022). *Titanium (IV) oxide anatase nanoparticles as vectors for*

diclofenac: Assessing single and combined oxidative stress-related toxicity in the aquatic macrophyte Egeria densa. *Iv*. https://doi.org/10.1007/s10646-023-02646-7

- Fang, Y., Liu, Y., & Zhang, J. (2023). Mechanisms for the increase in lipid production in cyanobacteria during the degradation of antibiotics. *Environmental Pollution*, *322*(October 2022), 121171. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121171
- Gaignard, C. (n.d.). *Criblage, identification et caractérisations physico-chimiques d'exopolysaccharides de microalgues et Cyanobactéries*. https://theses.hal.science/tel-03738066
- Gana, A., Mathias, Y., Chia, A., Idris, R., & Gauje, B. (2023). Risk assessment of the antibiotic amoxicillin on non‐toxin‐producing strains and toxin‐producing strains of Microcystis. *Environmental Science and Pollution Research*, *0123456789*. https://doi.org/10.1007/s11356-023-26403-9
- Ghosh, A., & Islam, T. (2016). Genome-wide analysis and expression profiling of glyoxalase gene families in soybean (Glycine max) indicate their development and abiotic stress specific response. *BMC Plant Biology*, *16*(1), 1–25. https://doi.org/10.1186/s12870-016-0773-9
- Gomes, M. P., Kitamura, R. S. A., Marques, R. Z., Barbato, M. L., & Zámocký, M. (2022). The Role of H2 O2-Scavenging Enzymes (Ascorbate Peroxidase and Catalase) in the Tolerance of Lemna minor to Antibiotics: Implications for Phytoremediation. *Antioxidants*, *11*(1). https://doi.org/10.3390/antiox11010151
- Hassaan, M. A., & El Nemr, A. (2020). Pesticides pollution: Classifications, human health impact, extraction and treatment techniques. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, *46*(3), 207–220. https://doi.org/10.1016/j.ejar.2020.08.007
- hocine & GORINE. (2017). *Thème ÉVALUATION DE L'EXPOSITON AU PLOMB ET CADMIUM ET IMPACT SUR QUELQUES PARAMETRES DU STATUT OXYDANT/ANTI OXYDANT CHEZ LES OUVRIERS EXPOSES AUX FUMEES DE SOUDAGE*. 62.
- Huang, I. S., & Zimba, P. V. (2019). Erratum: Cyanobacterial bioactive metabolites-A review of their chemistry and biology (Harmful algae (2019) 83 (42-94) PII: S1568-9883(19)30058-7). *Harmful Algae*, *86*, 139–209. https://doi.org/10.1016/j.hal.2019.05.001
- Ibtissem, D. (2020). *Effet des pesticides sur la faune et la microflore des sols désertiques et synthèse bibliographique sur les techniques de dégradation de ces*

xénobiotiques Année universitaire Remerciement.

- Idowu, G. A., Aiyesanmi, A. F., & Oyegoke, F. O. (2022). Organochlorine pesticide residues in pods and beans of cocoa (Theobroma cacao L.) from Ondo State Central District, Nigeria. *Environmental Advances*, *7*, 100162. https://doi.org/10.1016/j.envadv.2021.100162
- Ismaiel, M. M. S., El-Ayouty, Y. M., & Piercey-Normore, M. D. (2014). Antioxidants characterization in selected cyanobacteria. *Annals of Microbiology*, *64*(3), 1223–1230. https://doi.org/10.1007/s13213-013-0763-1
- Jiang, X., Wang, D., Wu, W., & Li, F. (2022). Ecotoxicological effect of enrofloxacin on Spirulina platensis and the corresponding detoxification mechanism. *Environmental Science: Processes and Impacts*, *25*(1), 85–93. https://doi.org/10.1039/d2em00284a
- Kammerscheit, X. (2021). *Rôles des glutathion-S-transférases chez la cyanobactérie modèle Synechocystis PCC 6803 To cite this version : HAL Id : tel-03402974*.
- Kargatov, A. M., Boshkova, E. A., & Chirgadze, Y. N. (2018). Novel approach for structural identification of protein family: glyoxalase I. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, *36*(10), 2699–2712. https://doi.org/10.1080/07391102.2017.1367330
- Kasprzyk-Hordern, B., Béen, F., Bijlsma, L., Brack, W., Castiglioni, S., Covaci, A., Martincigh, B. S., Mueller, J. F., van Nuijs, A. L. N., Oluseyi, T., & Thomas, K. V. (2023). Wastewater-based epidemiology for the assessment of population exposure to chemicals: The need for integration with human biomonitoring for global One Health actions. *Journal of Hazardous Materials*, *450*(December 2022). https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131009
- Khider, M., Facult, B., Kermiche, A., Le, O. K., Universit, M. A. A., Pr, B., Kriker, S., & Ann, E. (2021). *thérapeutique de la spiruline Arthrospira platensis*. 2020–2021.
- Latifi, A., Ruiz, M., & Zhang, C. C. (2009). Oxidative stress in cyanobacteria. *FEMS Microbiology Reviews*, *33*(2), 258–278. https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2008.00134.x
- Lavoie, I., Laurion, I., Warren, A., & Vincent, W. (2007). *LES FLEURS D ' EAU DE CYANOBACTÉRIES Revue de littérature*.
- Lévesque, D., Pinel-alloul, B., Hudon, C., Giani, A., & Vinçon-leite, B. (2017). Impacts des cyanobactéries et des cyanotoxines sur les étangs d'épuration municipaux

et les milieux aquatiques récepteurs: Revue de littérature et synthèse. *Revue de Littérature et Synthèse*.

- Li, J., Liu, K., Li, W., Zhang, M., Li, P., & Han, J. (2022). Removal mechanisms of erythromycin by microalgae Chlorella pyrenoidosa and toxicity assessment during the treatment process. *Science of the Total Environment*, *848*(August), 157777. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157777
- Li, J., Yu, Z., Warren, A., & Lin, X. (2023). Predation risk affects the ecotoxicity evaluation of antibiotics: Population growth and antioxidase activity in the ciliate Paramecium jenningsi. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *251*(January), 114536. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114536
- Li, X., Li, W., Zhai, J., Wei, H., & Wang, Q. (2019). Effect of ammonium nitrogen on microalgal growth, biochemical composition and photosynthetic performance in mixotrophic cultivation. *Bioresource Technology*, *273*(September 2018), 368–376. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.11.042
- Li, Z., Gao, X., Bao, J., Li, S., Wang, X., Li, Z., & Zhu, L. (2023). Evaluation of growth and antioxidant responses of freshwater microalgae Chlorella sorokiniana and Scenedesmus dimorphus under exposure of moxifloxacin. *Science of the Total Environment*, *858*(October 2022), 159788. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159788
- Liang, L., Bai, X., & Hua, Z. (2022). Enhancement of the immobilization on microalgae protective effects and carbamazepine removal by Chlorella vulgaris. *Environmental Science and Pollution Research*, *29*(52), 79567–79578. https://doi.org/10.1007/s11356-022-21418-0
- Lyu, P., Li, H., Zheng, X., Zhang, H., Wang, C., Qin, Y., Xia, B., Wang, D., Xu, S., & Zhuang, X. (2022). Oxidative stress of Microcystis aeruginosa induced by algicidal bacterium Stenotrophomonas sp. KT48. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *106*(11), 4329–4340. https://doi.org/10.1007/s00253-022-11959-2
- Mao, Y., Yu, Y., Ma, Z., Li, H., Yu, W., Cao, L., & He, Q. (2021). Azithromycin induces dual effects on microalgae: Roles of photosynthetic damage and oxidative stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *222*, 112496. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112496
- Martínez-Aguilar, K., Pérez-Legaspi, I. A., Ramírez-Fuentes, E., Trujillo-Tapia, M. N., & Alfredo Ortega-Clemente, L. (2018). Growth, photosynthesis and removal

responses of the cyanobacteria Chroococcus sp. to malathion and malaoxon. *Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, *53*(12), 771–776. https://doi.org/10.1080/03601234.2018.1505070

- Moorthy, A. K., Shukla, S. P., Govindarajan, R. B., Kumar, K., & Bharti, V. S. (2022). Application of Microalgal Physiological Response as Biomarker for Evaluating the Toxicity of the Textile Dye Alizarin Red S. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, *109*(2), 401–408. https://doi.org/10.1007/s00128-022-03525-3
- Moreira, S., Laplace-Treyture, C., Pickhahn, L., Jamoneau, A., & Eon, M. (2019). Dispositif CYANALERT : un système de surveillance et d'alerte des proliférations de cyanobactéries sur les plans d'eau du Born (Landes). *Dynamiques Environnementales*, *43–44*, 74–97. https://doi.org/10.4000/dynenviron.4767
- Naturelle, D. H. (2017). *Reprotoxic effects of microcystins and secondary metabolites produced by cyanobacteria Microcystis in adult medaka fish To cite this version : HAL Id : tel-01570151 Pour obtenir le grade de*.
- Nguyen-Deroche, T. L. N. (2008). *Effets du cuivre et du zinc sur la photosynthèse et le métabolisme d'une cyanobactérie et de diatomées marines du littoral vietnamien; comparaison avec des espèces de la côte atlantique française*.
- Nguyen-Deroche, T. L. N., Caruso, A., Le, T. T., Bui, T. V., Schoefs, B., Tremblin, G., & Morant-Manceau, A. (2012). Zinc affects differently growth, photosynthesis, antioxidant enzyme activities and phytochelatin synthase expression of four marine diatoms. *The Scientific World Journal*, *2012*. https://doi.org/10.1100/2012/982957
- Ore, O. T., Adeola, A. O., Bayode, A. A., Adedipe, D. T., & Nomngongo, P. N. (2023). Organophosphate pesticide residues in environmental and biological matrices: Occurrence, distribution and potential remedial approaches. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, *5*, 9–23. https://doi.org/10.1016/j.enceco.2022.10.004
- Ortega-ramos, M. O. R. (2015). *Construction et analyse de mutants de la machinerie de photoproduction d ' hydrogène chez la cyanobactérie modèle Synechocystis To cite this version : HAL Id : tel-01124220 Marcia ORTEGA- - - RAMOS Construction et analyse de mutants de la machinerie de ph*.
- Padhy, R. N. (1985). Cyanobacteria and pesticides. *Residue Reviews*, *VOL. 95*, 1–44. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-5132-3_1

- Pandey, V., & Rai, L. C. (2002). Interactive effects of UV-B and pesticides on photosynthesis and nitrogen fixation of Anabaena doliolum. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, *12*(3), 423–430.
- Perry, J. J., Staley, J. T., & Lory, S. (2002). *Microbial life.* Sinauer Associates Incorporated.
- Qi, X., Ru, S., & Xiong, J. Q. (2022). Ecotoxicological effects of sulfacetamide on a green microalga, Desmodesmus quadricauda: Cell viability, antioxidant system, and biotransformation. *Environmental Technology and Innovation*, *26*, 102278. https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102278
- Rai, R., Singh, S., Rai, K. K., Raj, A., Sriwastaw, S., & Rai, L. C. (2021). Regulation of antioxidant defense and glyoxalase systems in cyanobacteria. *Plant Physiology and Biochemistry*, *168*(October), 353–372. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.09.037
- Rambaldo, L., Ávila, H., Escolà Casas, M., Guivernau, M., Viñas, M., Trobajo, R., Pérez-Burillo, J., Mann, D. G., Fernández, B., Biel, C., Rizzo, L., Bayona, J. M., & Matamoros, V. (2022). Assessment of a novel microalgae-cork based technology for removing antibiotics, pesticides and nitrates from groundwater. *Chemosphere*, *301*, 134777. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134777
- Rastogi, R. P. (2021). Ecophysiology and Biochemistry of Cyanobacteria. In *Ecophysiology and Biochemistry of Cyanobacteria*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4873-1
- Samare, M., Samareh, A. N., Safari, S., Zaree, R., Moghadam, D., Azhdarpoor, A., Badeenezhad, A., & Rostami, S. (2020). A survey of the secondary exposure to organophosphate and organochlorine pesticides and the impact of preventive factors in female villagers. *Chemosphere*, *240*, 124887. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124887
- Samba Bagayogo, P. M., Peuple, U., But, U., & Foi, U. (n.d.). *Présentée et soutenue publiquement le ……/……/2020 Devant la Faculté de Pharmacie CARACTERISATION DE PESTICIDES (DELTAMETHRINE ET LAMBDA CYHALOTHRINE) DANS LES EAUX PAR LA CHROMATOGRAPHIE EN PHASE LIQUIDE A HAUTE PERFORMANCE AU LABORATOIRE NATIONAL DE LA SANTE DE BAMAKO République du MALI*.
- Sciences, D. E. S., & Mer, D. E. L. a. (2008). *Université de Bretagne Occidentale Méthodes d ' évaluation de l ' impact de pesticides sur le phytoplancton marin et le*

naissain d ' huître creuse.

- Shahid, A., Usman, M., Atta, Z., Musharraf, S. G., Malik, S., Elkamel, A., Shahid, M., Abdulhamid Alkhattabi, N., Gull, M., & Mehmood, M. A. (2021). Impact of wastewater cultivation on pollutant removal, biomass production, metabolite biosynthesis, and carbon dioxide fixation of newly isolated cyanobacteria in a multiproduct biorefinery paradigm. *Bioresource Technology*, *333*(April), 125194. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125194
- Sharma, J., Mariam, I., Suresh Kareya, M., Pavan Jutur, P., Joshi, M., Harish, Bhatnagar, A., Chaurasia, A. K., & Nigam, S. (2023). Metabolomic response of microalgae towards diclofenac sodium during its removal from water and concomitant recovery of pigments and lipids. *Bioresource Technology*, *371*(November 2022), 128617. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.128617
- Shinde, G. S. (2021). Pesticide Effect on Qualitative Occurrence and Survival of Soil Blue-Green Algae in Laboratory Condition. *International Journal of Biological Innovations*, *03*(01), 205–211. https://doi.org/10.46505/ijbi.2021.3122
- Singh, D. P., Khattar, J. I. S., Kaur, G., & Singh, Y. (2016). Toxicological impact of herbicides on cyanobacteria. *Annual Research and Review in Biology*, *9*(4), 1–39. https://doi.org/10.9734/ARRB/2016/22614
- Singh, D. P., Prabha, R., Verma, S., Meena, K. K., & Yandigeri, M. (2017). Antioxidant properties and polyphenolic content in terrestrial cyanobacteria. *3 Biotech*, *7*(2), 1–14. https://doi.org/10.1007/s13205-017-0786-6
- Song, W., Fu, C., Fang, Y., Wang, Z., Li, J., Zhang, X., Bhatt, K., Liu, L., Wang, N., Liu, F., & Zhu, S. (2023). Single and combined toxicity assessment of primary or UV-aged microplastics and adsorbed organic pollutants on microalga Chlorella pyrenoidosa. *Environmental Pollution*, *318*(December 2022). https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120925
- Sudarshan, S., Bharti, V. S., Harikrishnan, S., Shukla, S. P., & RathiBhuvaneswari, G. (2022). Eco-toxicological effect of a commercial dye Rhodamine B on freshwater microalgae Chlorella vulgaris. *Archives of Microbiology*, *204*(10), 1–16. https://doi.org/10.1007/s00203-022-03254-5
- Tamamizu, K., & Kumazaki, S. (2019). Spectral microscopic imaging of heterocysts and vegetative cells in two filamentous cyanobacteria based on spontaneous Raman scattering and photoluminescence by 976 nm excitation. *Biochimica et Biophysica*

Acta - Bioenergetics, *1860*(1), 78–88. https://doi.org/10.1016/j.bbabio.2018.11.012

- Tambosi, R. (2021). *Stress and toxicity of metal in photosynthetic bacteria : multi-scale study of the effects and the targets of metal ions and nanoparticles*. https://theses.hal.science/tel-03169595
- Teklu, B. M., Yakan, S. D., & Van den Brink, P. J. (2023). The use of a simple model for the regulatory environmental risk assessment of pesticides in Ethiopia. *Chemosphere*, *316*(October 2022), 137794. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.137794
- Toxicologie, D., Brousseau, M., Biochimie, T., Décaudin, M., Pharmacie, B., Depreux, G. M., Icpal, P., Dine, M., Pharmacie, T., Dupont-Prado, M., Hématologie, A., Gressier, M., Pharmacologie, B., Luyckx, M., Pharmacie, M., Odou, M., Pharmacie, P., Staels, G. M., & Cellulaire, B. B. (2018). *Université de Lille Faculté de Pharmacie Liste des Professeurs des Universités-Praticiens Hospitaliers Civ. NOM Prénom Laboratoire Mme ALLORGE*. 2017–2018. http://pharmacie.univ-lille2.fr
- toxicologie, I. national de santé publique du Q. D. de la santé environnementale et de la, Dubé, K., Brisson, G., Belleville, D., Lévesque, B., Gauvin, D., Chevalier, P., Gervais, M.-C., & Phaneuf, D. (2010). *Mémoire déposé à la Commission des transports et de l'environnement concernant les effets potentiels sur la santé liés à la présence des algues bleu-vert (cyanobactéries)*. Institut national de santé publique du Québec.
- Wan, L., Wu, Y., Zhang, B., Yang, W., Ding, H., & Zhang, W. (2021). Effects of moxifloxacin and gatifloxacin stress on growth, photosynthesis, antioxidant responses, and microcystin release in Microcystis aeruginosa. *Journal of Hazardous Materials*, *409*(November 2020), 124518. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124518
- Wang, J., Kong, L., Li, Y., Zhang, J., Shi, Y., Xie, S., & Li, B. (2021). Effect of protopine exposure on the physiology and gene expression in the bloom-forming cyanobacterium Microcystis aeruginosa. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*(45), 64666–64673. https://doi.org/10.1007/s11356-021-15626-3
- Weiss, F. T., Ruepert, C., Echeverría-Sáenz, S., Eggen, R. I. L., & Stamm, C. (2023). Agricultural pesticides pose a continuous ecotoxicological risk to aquatic organisms in a tropical horticulture catchment. *Environmental Advances*, *11*(December 2022). https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100339
- Wu, Y., Zhou, Z., Ou, L., Yu, J., Fu, H., & Yang, A. (2022). The Toxicological

Effects and Removal Characterization of Carbamazepine Using Chlorella vulgaris in Aqueous Media. *Water, Air, and Soil Pollution*, *233*(9), 1–8. https://doi.org/10.1007/s11270-022-05828-x

- Yisa, A. G., Chia, M. A., Sha'aba, R. I., Gauji, B., Gadzama, I. M. K., & Oniye, S. J. (2021). The antibiotic ciprofloxacin alters the growth, biochemical composition, and antioxidant response of toxin-producing and non-toxin-producing strains of Microcystis. *Journal of Applied Phycology*, *33*(4), 2145–2155. https://doi.org/10.1007/s10811-021-02485-1
- Zhang, J., Chen, S., Yuan, M., Zhang, W., Xu, H., Wang, X., Zheng, X., & Wang, L. (2021). Interactions of the Cyanobacterium Chrysosporum ovalisporum with Antibiotics in Water. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, *80*(2), 402–413. https://doi.org/10.1007/s00244-021-00811-9
- Zhang, Y., Li, M., Chang, F., Yi, M., Ge, H., Fu, J., & Dang, C. (2023). The distinct resistance mechanisms of cyanobacteria and green algae to sulfamethoxazole and its implications for environmental risk assessment. *Science of the Total Environment*, *854*(June 2022), 158723. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158723
- Zhou, X., Jiang, X., Gao, S., Wan, Z., & Gao, P. (2021). Effects of oxytetracycline dihydrate and sulfamethoxazole on Microcystis aeruginosa and Chlamydomonas microsphaera. *Journal of Oceanology and Limnology*, *39*(1), 160–172. https://doi.org/10.1007/s00343-020-9214-6
- Żyszka-Haberecht, B., Niemczyk, E., & Lipok, J. (2019). Metabolic relation of cyanobacteria to aromatic compounds. In *Applied Microbiology and Biotechnology* (Vol. 103, Issue 3, pp. 1167–1178). Springer Verlag. https://doi.org/10.1007/s00253-018-9568-2

Annexe

Annex

SPECTROPHOTOMÈTRE « UV-3100 »



CENTRIFUGEUSE POUR SÉPARATION



MICROSCOPIES BIOLOGIE

